

『生物時計への光の作用に関する照明学会推奨基準』

事前検討研究調査報告書

2012年 3月

(社) 照 明 学 会

『生物時計への光の作用に関する照明学会推奨基準』事前検討研究調査委員会

第1章 研究調査委員会概要	1
1. はじめに	1
1-1 背景	1
1-2 本委員会の目的	1
2. 委員会の構成	1
3. 活動概要	1
第2章 標準化動向	3
2-1 DIN,CEN,CIE の動向	3
2-2 一般照明用光源の作用量評価	7
2-2-1 ドイツ暫定規格 (DIN pre-standard)	7
2-2-2 米国 Lighting Research Center (LRC) の提案	7
2-2-3 一般照明用光源の作用量	7
2-2-4 結論および今後の課題	8
第3章	
3-1 昼光シミュレーションによる応用事例	10
3-2 節電対策と生物時計機構への影響	15
第4章 夜間の光環境における推奨基準に関連する動向	17
4-1 夜間屋外照明による作用	17
4-2-1 夜間屋外照明の影響に関する既往研究報告	25
4-2-2 夜間屋内照明によるメラトニン抑制作用のシミュレーション	35
第5章	
5-1 海外照明関連団体における動向	37
5-1-1 ELC,CELMA の動向	37
5-1-2 IES の動向	38
5-2 Lighting Research and Technology 誌など	39

第1章：研究調査委員会概要

1. はじめに

1-1 背景

近年、光のヒトの生物時計機構やそれを媒介とした健康への影響に関する研究報告が多く行われるようになった¹⁾。日本でも、睡眠関連の病気や高齢者における生体リズム障害の増加も問題となっており、光の非イメージ形成効果は注目されつつあった。治療面だけでなく、日常の屋内生活における照明空間との因果関係の解明にも期待が高まってきた。2009年、国際照明委員会（CIE）では近年報告された科学的知見の検証を行い、照明産業への反映に向けての活動を展開しつつあり、オランダでは独自に学会推奨を発行する準備に入っていた。

このような状況から、日本においても、その社会背景や照明事情を考慮して学会としての推奨基準を早急にまとめるべきだという意見が出された。少なくとも、基準への準備委員会を設置し、関連する知識・情報を正しく把握することは急務と考えられた。このような準備委員会設置によって、日本が関連研究分野で世界に遅れをとることなく、国際標準策定でのイニシアティブをとることも考えることができる。

1-2 本委員会の目的

当委員会の目的は、学会推奨基準や設計指針を検討することではなく、本研究分野における知見を社会へ波及させることとした。したがって、学会推奨基準の検討に加えて、ガイドブック等の出版の検討も行うことにした。

2. 委員会の構成

委員は以下のようになっている。

委員長	岩田 利枝	東海大学工学部
幹事	高橋 良香	千葉大学工学部デザイン工学科
	野口 公喜	パナソニック電工（株）照明 R&D センター
委員	森下 大輔	岩崎電気（株） 技術部 （2009年～
	古賀 靖子	九州大学大学院 人間環境学研究院
	佐々木政子	東海大学総合科学技術研究所
	菅野 普	旭化成ホームズ（株）住宅総合技術研究所
	鈴木 敬明	静岡県工業技術研究所
	東 洋邦	東芝ライテック株式会社
	樋口 重和	九州大学大学院 芸術工学研究院
	小崎 智照	九州大学大学院 芸術工学研究院
	望月 悦子	千葉工業大学工学部 建築都市環境学科
	高雄 元晴	東海大学工学部
	伊藤 大輔	ものづくり大学
	渡邊 健一	日建設計設備設計部門

3. 活動概要

平成21年8月から全10回の委員会を開催した。活動は海外企画化動向調査を中心に、基礎研究に関する海外研究動向調査、国内研究動向調査、さらに応用研究調査を行った。まだ新しい分野でいずれも常にリアルタイムの調査なので、最新情報の入手に努めつつ、その真偽の検討を慎重に行った。以下にその内容について示す。

(1) 海外標準化動向調査

- ・DIN（ドイツ）による規格化動向情報を入手
- ・ドイツ DIN 暫定規格（英語版）調査

- ・CIE 第3部会 TC3-46 動向調査
- (2)海外研究動向調査
 - ・SLTBR2009、2010 参加報告
 - ・Experiencing Light 2009 参加報告
 - ・単色光と白色光における作用差異
- (3)国内研究動向調査(委員からの話題提供)
 - ・ひとと住環境研究会調査報告
 - ・生物時計の調節にかかわる網膜の光受容メカニズム
 - ・非イメージ形成の視覚の分光感度と最近の話題
- (4)照明応用に関する調査
 - ・昼光の作用シミュレーション手法
 - ・ASSIST/LRC による屋外光の作用シミュレーション手法
 - ・LED 光源の作用予測結果と安全性

本報告書では、研究動向調査について「日中の光環境における推奨基準に関連する動向」「夜間の光環境における推奨基準に関連する動向」に分けて示し、また照明関連団体の動向を付け加えた。

第2章 標準化動向

2-1. DIN、CEN、CIE の動向

ドイツ規格協会 (Deutsches Institut für Normung; DIN) は、2009年6月に暫定規格 DIN V 5031-100: Optical Radiation Physics and Illuminating Engineering - Part 100: Non-visual effects of ocular light on humans - Quantities, symbols and action spectra (光放射物理と照明工学 - 第100部: 目に入る光のヒトに対する非視覚的影響 - 量、記号、作用スペクトル) を発行した¹⁾。暫定規格 (Vornorm) とは、緊急に規格化が求められる事項に関して暫定的に発行される規格であり、正式な規格ではない。3年間を上限に暫定的に適用され、内容の妥当性が審議された後に、正式な規格として採用または編入、あるいは廃止される。DIN V 5031-100:2009では、光の生物学的影響に関する光放射の定量評価の考え方を示し、夜間のメラトニン分泌の抑制、概日リズムの位相の変化、概日リズムの振幅の変化、光による覚醒、季節性感情障害 (seasonal affective disorder; SAD) の治療に係わる光放射の波長域と分光特性を定めている。

その後、ドイツ規格協会では NA 058 Lighting Technology Standards Committee (照明工学規格委員会) 傘下の委員会 NA 058-00-27 AA Effect of light on human beings (ヒトに対する光の影響) において、仕様書 DIN SPEC 5031-100: Optical Radiation Physics and Illuminating Engineering - Part 100: Non-visual effects of ocular light on humans - Quantities, symbols and action spectra の審議を2011年3月に開始した。仕様書 (Specification) とは、直ちに合意が得られない最先端技術について発行されるものである。ドイツ規格協会では「Entwicklungsbegleitenden Normung (Research & Development Phase Standardization; 研究開発段階の規格化)」というシステムを導入し、研究開発段階から先取りして革新技术の標準化を行うこととした。仕様書 DIN SPEC 5031-100 の審議は、欧州標準化委員会 (Comité Européen de Normalisation; CEN) の TC169 Light and Lighting (光と照明) 傘下の WG13 Non-visual effects of light on human beings (ヒトに対する光の非視覚的影響) および国際照明委員会 (Commission Internationale de l'Éclairage; CIE) の第6部会 Photobiology and Photochemistry (光生物学と光化学) と連携している。

CIE 第6部会では、2つの技術委員会 TC6-62 Action Spectra and Dosimetric Quantities for Circadian and Related Neurobiological Effects (概日リズムおよび関連する神経生物学的影響に関する作用スペクトルと線量計測量)、TC6-63 Photobiological Strategies for Adjusting Circadian Phase to Minimize the Impact of Shift Work and Jet Lag (交代勤務と時差ぼけの影響を最小にするための概日リズムの位相調節に関する光生物学的方法) を設けている。それらは、2008年から2009年の間に設置された。当初、TC6-62は、光生物学の研究で用いられる光源の測定におけるフォトダイオード分光放射計の適合性に関連して提案された。TC6-63が設置された経緯は不明である。2011年7月現在、2つの技術委員会から特に成果は上がっていない。CIE 第3部会 Interior Environment and Lighting Design (屋内環境と照明設計) では、2007年にレポーターR3-28 The Lighting Requirements

for Night-Shift Workers (交代勤務者のための照明要件) を設け、光生物学の基礎に関する第6部会と屋内照明応用に関する第3部会との連携を図ろうとした。R3-28 は報告書を作成したが、TC6-63 との連携はうまく行っていない。

ドイツ規格協会 NA 058-00-27 AA では、さらに、DIN V 5031-101: Planung von biologisch wirksamer Beleuchtung (Design of biologically effective lighting; 生物学的効果のある照明の設計) の原案の作成に着手した。生物学的観点から、1日の生活時間帯によって光量や光色を変化させるダイナミックな照明の設計方法が検討されている。DIN V 5031-101 の原案作成は、CEN TC169/WG2 Lighting of work places (作業場の照明) および CIE TC6-63 との連携において進められているようである。

ドイツでは、DIN SPEC 5031-100 と DIN V 5031-101 の作成により、エネルギー効率が高く、生物学的にも効果のある照明の実現を目差している。その結果、①人間にとっては；健康、ウェルビーイング、活動性、生産性、安定した生物リズム(概日リズム)、睡眠の質、②産業界にとっては；技術を用いた、より信頼できるマネジメント、進歩的な事業の機会、性能の高い製品、技術革新、③環境にとっては；エネルギー効率と人間の要求とのバランス、サステナブルな製品を勝ち取れると考えている。

一連の規格作成の動きは、2006年にドイツ連邦政府が定めた「Hightech-Strategie (High-Tech Strategy; 高度先端技術政策)」が影響している。ドイツ連邦政府は、経済政策目標を達成するための重要な手段として、規格作成に注目した。すなわち、研究方法や研究成果をハイテク製品やサービスに移す時、その初期段階から規格作成を考慮することで、ドイツの競争力を高められると考えている。その政策に従って、経済技術省は「Innovation mit Normen und Standards (Innovation with Norms and Standards; 規範と標準による技術革新)」という長期のプロジェクトを立ち上げた。このプロジェクトは、経済技術省の支援を受けて、ドイツ規格協会が実施している。ドイツには国際市場における自国企業の優位性が重要であり、国家規格の作成が出発点であるが、欧州規格化を通じた国際規格化が最終目標であると言える。

ドイツ規格は、英国規格と並んで、欧州規格に強い影響力を持っている。将来的に、DIN SPEC 5031-100 や DIN V 5031-101 が正式な規格となると、それらの欧州規格化や国際規格化だけでなく、EN 12464-1: Lighting of Work Places - Indoor work places (作業場の照明 - 屋内作業場) の改訂を通して、ISO 8995-1/CIE S 008: Lighting of Work Places - Part 1: Indoor (作業場の照明 - 第1部: 屋内) の改訂に影響するものと推測する。2011年に改訂された EN 12464-1:2011 では、光の変動性が新たに定められている²⁾。CEN では、EN 12464-1:2011 を基に、ISO 8995-1:2002/CIE S 008/E:2001 の改訂を ISO と協議している。2011年5月に、光と照明に関する規格作成全般について、CEN TC169 は CIE との密接な協力関係を確認した。その結果、CIE の活動に対する CEN TC169 の関与が強化された。

CEN と CIE との技術協力に関する協定において、CEN は欧州規格作成団体(ただし、電気分野と電気通信分野を除く)、CIE は光・色・照明に関する国際的な学術団体と認識されて

いる。従って、光の生物学的効果とその照明応用に関する欧州規格は、CEN TC169/WG13 において、ドイツ規格を基に作成されると考える。欧州規格が制定されれば、ISO と CEN とのウィーン協定により、ISO にその国際規格化が提案される可能性は否定できない。CIE は、学術的知見を提供するプラットフォームに過ぎない。

DIN V 5031-100:2009 は、光の生物学的影響に関する可視域の光放射の定量化を示すものである。加えて、光を生物学的に特徴づける用語と作用スペクトルを定義している。DIN V 5031-100:2009 は、光源と照明の評価について1つの考え方を定めるもので、必ずしも作用スペクトルが、光放射の生物学的有効性に関する正確な尺度であることを意味するものではないとしている。

DIN V 5031-100:2009 が定義する光の生物学的影響とは、①夜間のメラトニン分泌抑制、②概日リズムの位相変化、③概日リズムの振幅変化、④光による覚醒、⑤季節性感情障害 (SAD) の治療である。上記の各項目について、分光感度の波長域と最大感度の波長を示している。DIN V 5031-100:2009 の基本技術は、米国と英国の研究グループが公表した夜間のメラトニン分泌抑制の作用スペクトルに基づいて、ドイツの研究者が提案した概日リズムに関する分光感度 (380 nm~580 nm ; ピーク波長 450 nm) と光の定量化の方法である^{3,4,5)}。夜間のメラトニン分泌抑制のほか、概日リズムの位相変化と振幅変化、光による覚醒についても暫定的に同じ分光感度を適用している。ただし、季節性感情障害 (SAD) の治療については、高照度光療法において光色による治療成績の違いがないため、生物学的効果は飽和していると思われている。また、季節性感情障害 (SAD) の治療のための作用スペクトルが不明であるため、明所視の標準比視感度 (標準分光視感効率) を適用することとしている。

夜間のメラトニン分泌抑制について、相対的な分光感度曲線は得られているが、最大視感度 (最大視感効果度) に相当するものが明らかにされていない。よって、明所視の標準比視感度と夜間のメラトニン分泌抑制の分光感度から biological action factor (生物学的作用係数) を定義し、光源の評価に用いている。生物学的作用係数は25歳を基準としている。高齢者の生物学的作用係数は、加齢による中間透光体 (角膜、房水、水晶体、硝子体) の分光透過率の変化と瞳孔の大きさの変化により、25歳のものより小さくなる。代表的な年齢の50歳と75歳について、中間透光体の透過率に関する補正係数を求めるための光学濃度 (optical density) と光学透過率 (optical transmittance)、および瞳孔の大きさに関する補正係数が示されている。

25歳の生物学的作用係数 $a_{biol v}$ は、次式で定義されている。

$$a_{biol v} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} X_{\lambda}(\lambda) \cdot s_{biol}(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{380 \text{ nm}}^{780 \text{ nm}} X_{\lambda}(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot d\lambda}$$

ここで、

$a_{biol v}$: 生物学的作用係数

$X_{\lambda}(\lambda)$: 分光放射量

$s_{\text{biol}}(\lambda)$: 生物学的作用の相対分光感度

$V(\lambda)$: 明所視の標準比視感度

λ_1, λ_2 : 波長の下限值と上限値

季節性感情障害 (SAD) の治療については、生物学的作用の相対分光感度に明所視の標準感度を適用するため、生物学的作用係数は 1 となる。明所視の標準比視感度と年齢との関係は不明であることから、加齢による補正係数は定義されていない。

参考文献

- (1) DIN V 5031-100:2009-06 Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik - Teil 100: Über das Auge vermittelte, nichtvisuelle Wirkung des Lichts auf den Menschen - Größen, Formelzeichen und Wirkungsspektren (2009)
- (2) EN 12464-1:2011 Light and Lighting - Lighting of work places - Indoor work places (2011)
- (3) G.C. Brainard, et al.: Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a novel circadian photoreceptor, *Journal of Neuroscience*, 21(16), pp.6405-6412 (2001)
- (4) K. Thapan et al.: An Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans, *Journal of Physiology*, 535. 1, pp.261-267 (2001)
- (5) D. Gall: Circadiane Lightgrößen und Deren Meßtechnische Ermittlung, *Light*, 54, pp.1292-1297 (2002)

(古賀靖子・九州大学大学院)

2-2. 一般照明用光源の作用量評価

生物時計機構への作用に関連しては、2種類のアクシヨンスペクトルが報告されている。1つは、近年発見され、生物時計機構への光信号入力において重要な役割を担っていると考えられる新たな光受容器（視物質メラノプシンを有する神経節細胞）の脱分極アクシヨンスペクトルであり、約 480nm のピーク波長が報告されている^{1), 2)}。もう1つは、概日リズムの最も信頼できるマーカーとされているメラトニン分泌抑制のアクシヨンスペクトルであり、約 460nm のピーク波長が報告されている^{3), 4)}。つまり、両者は生物時計機構への一連の作用における入力と出力のアクシヨンスペクトルに相当し、それらの作用感度のピークが 20nm 程度の差に収まっていることは、この波長域の光すなわち青色光が生物時計機構へ効果的に作用することを強固に裏付けるものと言える。

前項で述べた生物時計機構への作用を考慮した照明設計を行うことを目的として、近年、これらアクシヨンスペクトルに基づいて、作用量を予測するための方法が検討されている。以下にその代表例を紹介する。

2-2-1. ドイツ暫定規格 (DIN pre-standard)

2-1 章で述べたものであり、単位明るさあたりの予測作用量（相対値）を算出することができる。

2-2-2. 米国 Lighting Research Center (LRC) の提案

LRC の研究グループは、上述のメラトニン分泌抑制のアクシヨンスペクトルに基づいた作用強度予測と実際の照明曝露によるメラトニン分泌抑制量の間には矛盾が生じることを報告した⁵⁾。これは上記アクシヨンスペクトルが様々な波長の単波長光の曝露を繰り返して導出されたものであるのに対し、一般に使用されている各種白色光源による照明光は複合波長光（つまり、赤・緑・青などの単波長光の組み合わせ）であることから、網膜上での受光から脳内で処理される過程で何らかの異なる信号処理が行なわれているためであると推測される。

これに関して Rea らは、上述した新たな光受容器の脱分極におけるアクシヨンスペクトルを基盤とし、青-黄の反対色応答を含む錐体・桿体の寄与も併せて考慮した予測式を提案した⁶⁾。この提案の優れているところは、光源の発光スペクトルと照射強度をパラメータとして与えることでメラトニン分泌抑制率まで予測できる点であり、その絶対値も意味を持つものとなっている。ただし、受光による瞳孔収縮は加味されていないため、それによる受光量の減衰は別途考慮する必要がある。

2-2-3. 一般照明用光源の作用量

メラトニン分泌抑制の作用感度のピークとされる 460nm 前後の波長域には、現在照明用途でもっとも一般的に用いられている Blue-Yellow 型の白色 LED の青のピークが存在する。

このことから、LED 照明の夜間使用を問題視する声も少なくない。そこで、上述した 2 つの方法を用いて、LED 光源の作用量を調べ、その可能性を検証した。

検証に用いた光源は表 2-1 に示すとおりであり、LED 光源については複数の製造元のものを実測して作用量を計算した。それぞれの結果を図 2-1 に示す。まず全体の傾向としては、色温度が高くなるにつれて作用量も大きくなり、両計算結果において共通している。各光源間での作用の差に注目すると、両予測手段で若干の差はあるものの、LED 光源において特異的に作用が著しく大きくなるという傾向は見出せない。夜間の照明として好まれる 3000K 以下の電球色の範囲では、LED 光源の作用量は電球よりもむしろ小さくなっている。

光源種別	光色／種類	光源数（製造元）
LEDモジュール	色温度2700K~8000K	16光源（3社）
LED電球	電球色相当、昼白色相当、昼光色相当	7光源（4社）
蛍光灯	電球色、白色、昼白色、昼光色	4光源（1社）
電球	シリカ電球、ミニハロゲン電球	2光源（1社）

表 2-1. 作用量予測に用いた光源

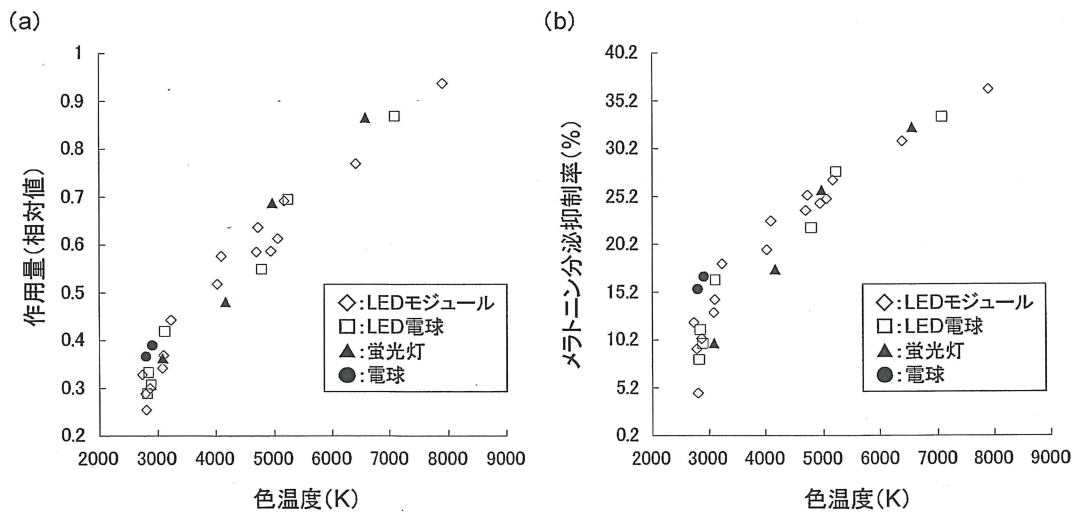


図 2-1. 各種光源の作用量予測結果

(a) DIN 暫定規格に基づいた作用量の計算結果

(b) Rea らのモデルに基づいたメラトニン分泌抑制率の計算結果

(角膜照度 100 lx、1 時間曝露を想定して計算)

いずれも横軸を色温度の実測値としてプロット。

2-2-4. 結論および今後の課題

前項での計算結果より、少なくとも現時点での科学的知見から知りうる限りでは、適切な色温度の光源を選定すれば、LED 照明も夜間照明としても問題なく使用できるものと考えられる。ただし、その予測手段については課題も残されている。例えば、単波長光と複

合波長光の作用を実測比較すると、複合波長光による作用が予測よりも顕著に小さくなるとの報告⁷⁾があり、単波長／複合波長光源間の作用比較では正確性に欠ける可能性がある。この現象に対し高橋らは、複合波長光の作用予測のための減衰項導入の提案を行っている⁸⁾。また、概日リズム位相や覚醒中枢への作用におけるアクションスペクトルの妥当性や、作用を修飾する他の要因（タイミング、受光履歴、配光、個人差、人種差など）についても知見に乏しい。今後、LED 照明を含む一般照明による作用量予測の精度向上のためには、このような観点でのさらなる研究が必要と言えよう。

(野口公喜)

<参考文献>

- 1) Berson, D.M., Dunn, F.A. And Takao, M.: Phototransduction by Retinal Ganglion Cells that Set the Circadian Clock, *Science*, 295, pp.1070-1073 (2002)
- 2) Dacey, D.M. and Liao, H.W. et al.: Melanopsin-expressing Ganglion Cells in Primate Retina Signal Colour and Irradiance and Project to the LGN, *Nature*, 433-7027, pp.749-754 (2005)
- 3) Brainard, G.C. and Hanifin, J.P. et al.: Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor, *J Neurosci*, 21, pp.6405-6412 (2001)
- 4) Thapan, K. and Arendt, J. et al.: An Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Non-rod, Non-cone Photoreceptor System in Humans, *J Physiol*, 535, pp.261-267 (2001)
- 5) Figueiro, M.G. and Bullough, J.D. et al.: Preliminary Evidence for Spectral Opponency in the Suppression of Melatonin by Light in Humans, *Neuroreport*, 15, pp.313-316 (2004)
- 6) Rea, M.S. and Figueiro, M.G. et al.: Circadian Light, *J Circadian Rhythms*, 8-1, pp.2-10 (2010)
- 7) Revell, V.L. and Barrett, D.C. et al.: Predicting Human Nocturnal Nonvisual Responses to Monochromatic and Polychromatic Light with a Melanopsin Photosensitivity Function, *Chronobiol Int*, 27, pp.1762-1777 (2010)
- 8) 高橋, 勝浦ほか: 光曝露によるメラトニン分泌抑制率の推定, *照学誌*, 94-2, pp.124-134 (2010)

3-1. 昼光シミュレーションによる応用事例

生物時計のサーカディアンリズムは光によって自然の昼夜サイクルに同期するように機能していることから、生物時計を乱さない照明として昼光照明を利用することは非常に理にかなっている。また、昼光照明は電力を必要としないため、エネルギーの効率化の観点からも非常に注目されている。昼光によって得られる室内照度は場所、時刻、天候、窓の位置や向きによって変化するため、昼光照明の設計・評価にはこれらの要因を考慮した室内照度予測を行う必要がある。近年、いくつかの天空輝度分布モデルや各地点の標準気象データから昼光の光束量を推定する方法、および、それらのデータを用いた昼光による室内照度の予測シミュレーションが提案されている。ここでは、昼光シミュレーションを用いて、昼光照明がサーカディアンリズムに与える影響を評価する方法を提案している研究について報告する。

Pechacek ら⁷⁾は、図3-1-1に示すようなサーカディアン効果の評価プロセスを提案し、ボストンの病院の病室を仮定した実証検討を行なっている。その実証検討で以下の内容を実施している。

① 建築物の定義

評価対象とする部屋の寸法、窓の向き・面積、窓ガラスの厚さ・透過率、壁や床の反射率などを定義する。

② 環境情報の定義

建築物の場所（緯度、経度）、シミュレーションに用いる気象データを定義する。この研究では、米国エネルギー省の気象データと Perez の全天候天空輝度モデル²⁾を用いて天空輝度分布を仮定している

③ 照明光のスペクトル推定とサーカディアンリズムに影響を与えるのに必要な照度の決定

標準の光と代表的な照明の色温度とスペクトルの値に基づいて室内の人工照明の色温度から光源スペクトルを推定するとともに、生物学的研究結果から得られたサーカディアンリズムに影響を与える放射強度閾値^{3,4)}やサーカディアンアクションスペクトル^{5,6)}から、サーカディアンリズムへの効果に必要な照度（目標照度）を決定する。

④ 光学シミュレーション

①、②の条件に基づいて光学シミュレーションソフト RADIANCE をベースとしたシステムで室内照度分布を計算し⁷⁾、その結果を④で決定した目標照度と比較して目標照度を得ることができる時間的な確率を昼光評価結果とする。また、室内照度の時間的な変化も計算して時間マッピング図とし、サーカディアンリズムへの効果に必要な暴露タイミングを検討する（ただし、Pechacek らの研究では暴露タイミングの具体的評価指標については触れていない）。

Mardaljevic ら⁸⁾は、同様の昼光シミュレーションで室内四方向の鉛直面照度の計算と評価を行い、そのサーカディアンリズムに対する効果と時間タイミングの評価結果を同心円状の図として表現することを提案した。彼らはこの図示の方法をソンプレロ（メキシカンハット）の形になぞらえてソンプレロプロットと呼んでいる。ソンプレロプロットでは、光暴露のタイミングを同心円状の図として示す（図3-1-3）。同心円の最も内側の部分は生物時計を前進させる効果がある6時～10時における光暴露量を、真ん中の同心円部分は覚醒度（alertness）を上昇させる効果がある10時～18時での光暴露量を、外側の同心円部分は光暴露の影響が大きくかつ生物時計を前進させる影響がある18時～6時の光暴露量を示す。図示する光暴露量は、シミュレーションで得られた累積照度と、昼光のスペクトルを時刻、天候、方向によりD55, D65, D75光源のスペクトルと仮定して推定したサーカディアンリズムへの効果の必要照度の累積量に対する比率を示している。ソンプレロプロットで交差する直線で四分割された各部分は、室内の四方向の鉛直面照度に対する評価結果である（図3-1-4）。

以上のように、昼光シミュレーションを用いて、室内で得られる昼光のサーカディアン効果を予測するスキームが提案されている。サーカディアン効果を得るための必要照度の設定や、暴露タイミングの時間帯やその影響度の見積りなど、評価値としての正確性を求めるには現状では不十分と思われる点はあるが、時間生物学の研究の更なる進展によってより詳細な生物時計への影響が明らかになれば、紹介したような評価スキームは昼光の影響や有効利用について検討可能な有効な方法であると思われる。

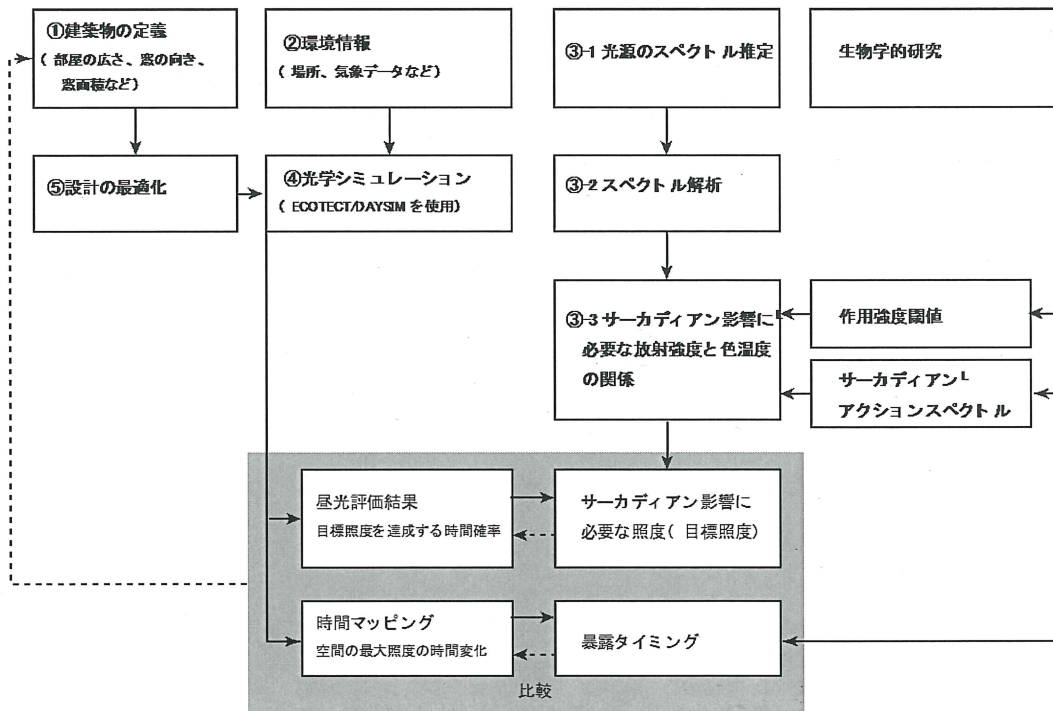
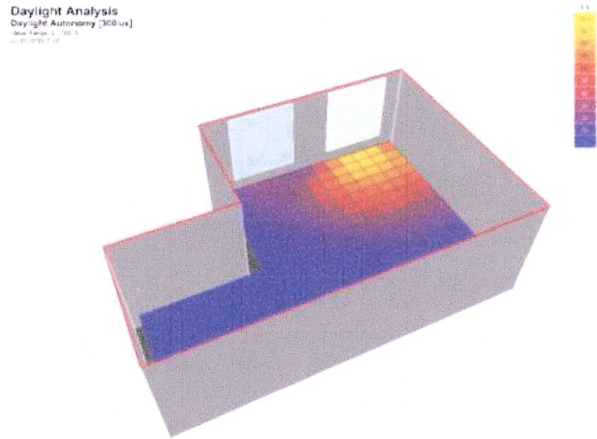


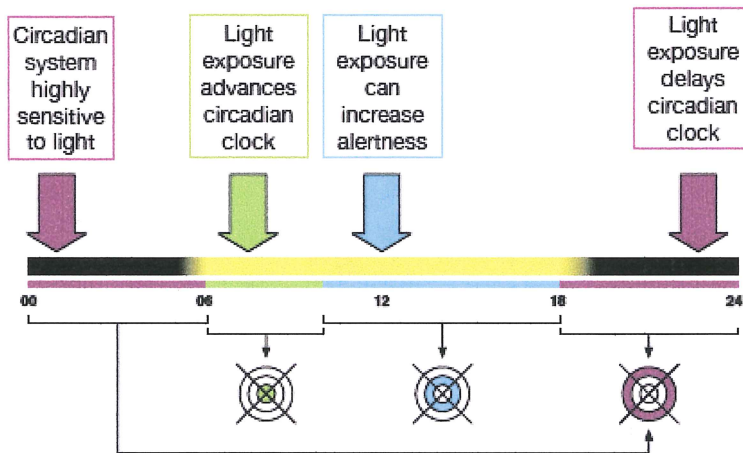
図3-1-1. Pechacek らが提案した昼光シミュレーションからサーカディアン効果を

評価するプロセス



(←論文からの直接引用。要改変)

図 3-1-2. 図 3-1-1 の評価プロセスで得られる評価結果の一例。ロンドンに位置する病室を仮定し、想定した目標照度を達成する時間確率の室内分布を図示している。



(←論文からの直接引用。要改変)

図 3-1-3. ソンブレプロットの同心円状の部分は暴露タイミングを示す。最も内側の部分は生物時計を前進させる効果がある 6 時～10 時における光暴露を、真ん中の同心円部分は覚醒度 (alertness) を上昇させる効果がある 10 時～18 時での光暴露を、外側の同心円部分は光暴露の影響が大きく、かつ、生物時計を前進させる影響がある 18 時～6 時の光暴露を示す。

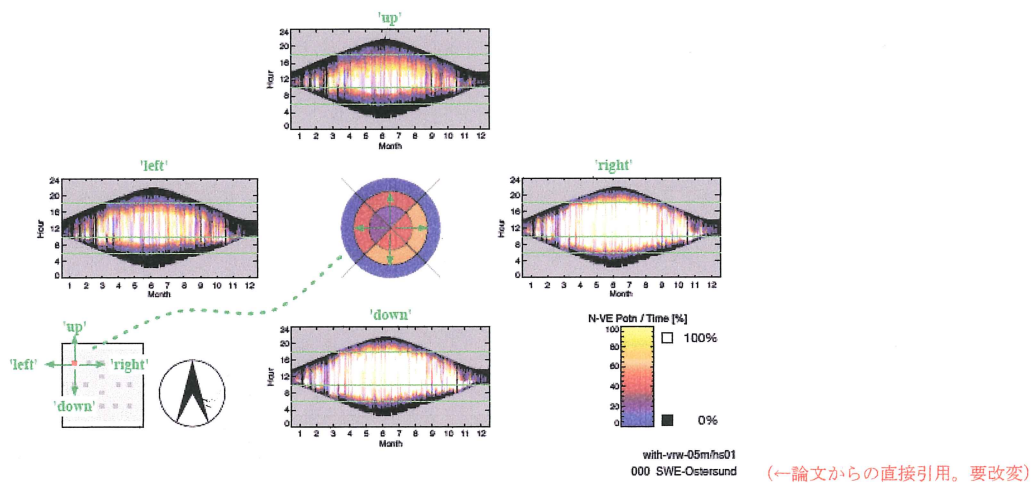


図 3-1-3. ソンブレプロットの四分割された部分は、サーカディアン効果必要な照度に対する室内四方向の鉛直面照度の割合を計算し、それを累積した値である。

参考文献

- (1) C S Pechacek, M Andersen and S W Lockley: "Preliminary Method for Prospective Analysis of the Circadian Efficacy of (Day)Light with Applications to Healthcare Architecture," LEUKOS 5-1 pp.1-26 (2008)
- (2) R Perez, R Seals and J Michalsky: "All-Weather Model for Sky Luminance Distribution - Preliminary Configuration and Validation," Solar Energy 50-3 pp.235-245 (1993)
- (3) C Cajochen, J M Zeitzer, C A Czeisler and D J Dijk "Dose-Response Relationship for Light Intensity and Ocular and Electroencephalographic Correlates of Human Alertness," Behavioural Brain Research 115 pp.75-83 (2000).
- (4) J M Zeitzer, D J Dijk, R E Kronauer, E N Brown and C A Czeisler," Sensitivity of the Human Circadian Pacemaker to Nocturnal Light: Melatonin Phase Resetting and Suppression," J Physiology 526-3 pp.695-702 (2000)
- (5) G C Brainard, J P Hanifin, J M Greeson, B Byrne, G Glickman, E Gerner and M D Rollag "Action Spectrum for Melatonin Regulation in Humans: Evidence for a Novel Circadian Photoreceptor," J Neurosci. 21-16 pp.6406-6412 (2001)
- (6) K Thapan, J Arendt and D Skene "An Action Spectrum for Melatonin Suppression: Evidence for a Novel Non-Rod, Non-Cone Photoreceptor System in Humans," J Physiology. 535-1 pp.261-267 (2001)
- (7) C Reinhart and W Walkenhorst "Validation of Dynamic RADIANCE-based Daylight Simulations for a Test Office with External Blinds," Energy and Buildings. 33-7, pp.683-697 (2001)

- (8) J Mardaljevic, M Andersen, N Roy and J Christoffersen, “Daylighting Metrics for Residential Buildings” in Proceedings of the 27th Session of the CIE ページ数不明 (2011)

3-2. 節電対策と生物時計機構への影響

2011年3月に発生した東日本大震災以降、照明の電力使用に対する節電の要求が高まり、オフィスにおける部分消灯などが引き続き実施されている。さらに、現在の照度基準の妥当性や、欧米に比べて明るい傾向にある屋内照明環境の見直しにまで議論は発展している。

現在の屋内照明照度基準における下限値の設定は、視認性の確保が最大の決定因子となっているが、日中の照明環境における受光は、生物時計機構への作用という点においてもその重要性が示唆されている。

Park ら¹⁾ は 6:30 から 19:30 まで顔面照度 200lx と 5000lx の光曝露を行い、後者において夜間の尿中メラトニン濃度が顕著に増加したことを報告した。近年では、日中の受光が夜間のメラトニン分泌抑制感度に及ぼす影響についても注目されている。Hebert ら²⁾ は、日中の数時間を屋外で過ごすなどして高照度光を受光した場合と、サングラスの装着により日中の受光を制限した場合において、夜間の光曝露によるメラトニン分泌抑制について調べた結果、日中の受光を制限した場合の方が夜間のメラトニン分泌抑制が顕著に強く生じたことを報告した。また、Smith ら³⁾ は、実験室内のよりコントロールされた環境下において、日中に 200lx と 0.5lx の光曝露を行った後、夜間のメラトニン分泌抑制を調べ、同様に 0.5lx 条件において、その抑制が顕著に強く生じたことを報告している。さらに、Rufiange ら⁴⁾ により、屋内労働者では屋外労働者に比べて夜間のメラトニン分泌抑制が大きくなることも報告されている。

フランスで実施された大規模調査においては、睡眠への影響も報告されている。Leger ら⁵⁾ は、13296 名の労働者を対象として日中の受光量と睡眠に関する調査を実施し、日中に自然光を全く浴びない人は、労働時間の一部もしくは常に浴びる人と比較して、夜間の睡眠と日中の覚醒に関する不満が顕著に多いことを確認している。

また、高齢者において、その重要性はさらに高まる可能性がある。Mishima ら⁶⁾ の報告では、不眠を訴える 10 名の高齢者において日中の受光量と夜間のメラトニン分泌量が顕著に少なかったことを確認し、それら不眠高齢者に対して日中 4 時間の高照度光照射 (2500lx) を行うことで、健常高齢者を上回るレベルまでメラトニン分泌量が回復したことが示されている。その他生理的機能と同様に、加齢は生物時計機構において光周期と概日リズムの同調性や昼夜のメリハリという振幅の低下を引き起こすと考えられており、高齢者の居住環境において日中の受光量確保の重要性が示唆されている。

これらの研究結果は、健全な概日リズムや睡眠・覚醒という観点から、日中の受光量確保の重大性を示唆するものである。実験の条件設定や調査条件は、実際の屋内照明環境と一致するものではないため、現在の照度基準を絶対的に肯定するものではないが、照度基準変更を検討するにおいては、生物時計機構への悪影響およびそれにより生じる可能性がある健康被害や生産性の損失の可能性検証が必須となると考える。

(野口公喜)

<参考文献>

- 1) Park, S.J. and Tokoura, H.: Bright light exposure during the daytime affects circadian rhythms of urinary melatonin and salivary immunoglobulin A, *Chronobiol. Int.*, 16(3), pp.359-371 (1999).
- 2) Hebert, M., Martin, S.K., Lee, C. and Eastman, C.I.: The effects of prior light history on the suppression of melatonin by light in humans, *J Pineal Res.*, 33(4), pp.198-203 (2002).
- 3) Smith, K.A., Schoen, M.W. and Czeisler, C.A.: Adaptation of human pineal melatonin suppression by recent photic history, *J Clin Endocrinol Metab.*, 89(7), pp.3610-3614 (2004).
- 4) Rufiange, M., Beaulieu, C., Lachapelle, P. and Dumont, M.: Circadian light sensitivity and rate of retinal dark adaptation in indoor and outdoor workers, *J Biol Rhythms*, 22(5), pp.454-457 (2007).
- 5) Mishima, K., Okawa, M., Shimizu, T. and Hishikawa, Y.: Diminished melatonin secretion in the elderly caused by insufficient environmental illumination, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 86(1), pp.129-134 (2001).
- 6) Leger, D., Bayon, V., Elbaz, M., Philip, P. and Choudat, D.: Underexposure to light at work and its association to insomnia and sleepiness: a cross-sectional study of 13,296 workers of one transportation company, *J Psychosom Res*, 70, pp.29-36 (2011)

第4章：夜間の光環境における推奨基準に関連する動向

4-1. 夜間屋外照明による作用（担当：望月）

近年、LED光源の発光効率向上に伴い、夜間照明にもLEDが使われるようになってきた。現在、白色LEDとして使用されているのは、青色LEDに黄色蛍光体を組み合わせたものが主であるが、これは従来夜間屋外照明に使用されてきた高圧ナトリウムランプや蛍光灯、水銀灯などと比べ、分光分布が短波長側に偏っているという特徴がある。これに対し国際ダークスカイ協会（International Dark Sky Association, IDSA）は、夜間に波長440～460 nmの白色光が多く含まれる光を過剰に浴びると、サーカディアンシステムが刺激され健康影響を受けるとして、2009年10月にプレスリリースを行った¹⁾。相関色温度5500 Kの青白いLED光源の分光分布は、図4-1-1に示すように、大部分が人間の分光視感効率とは外れた波長域にあり、一方でメラトニン分泌抑制感度のピークとほぼ一致している。短波長の青白い光は、特に高齢者の視覚やグレア、光害、さらには生体リズムに対し悪影響を及ぼすとして、図4-1-1中の網掛け部分に相当する波長500 nm以下の光を多く含む相関色温度3000 K以上のLED光源の使用を制限することを推奨している。

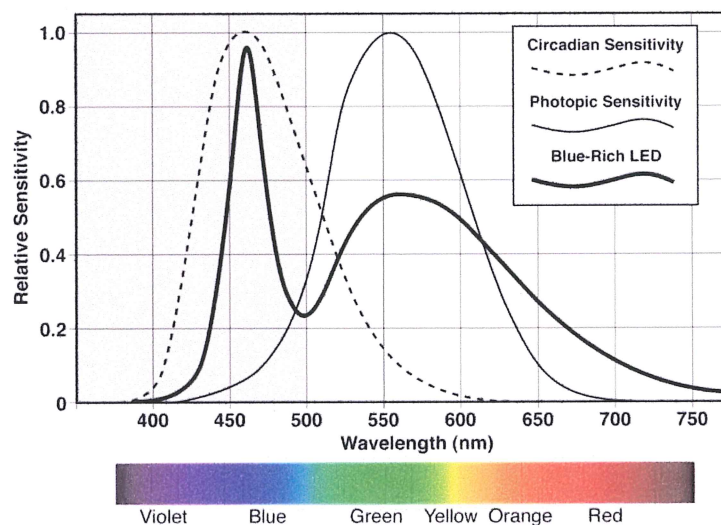


図4-1-1. 短波長成分の多いLED光源とメラトニン分泌抑制感度曲線¹⁾

IDAのプレスリリースの内容に対し、Reaらは分光分布の異なる道路照明による夜間光環境がもたらす影響について定量的に分析した²⁾。分析では、網膜に対する光学放射をSCNへの神経信号に変更するモデル³⁾ならびに角膜における分光放射の分布量から瞳孔面積を予測するモデル⁴⁾を用いて、図4-1-2に示すような実際の曝露光環境を想定し、光源の分光分布4条件について評価している。想定した環境条件は以下の3条件である。

条件①：ポールから1.5 m離れた位置で光源を直視する（角膜照度95 lx）

条件②：ポールから3 m離れた位置で路面を注視する（角膜における最大照度27 lx）

条件③：ポールから10 m離れた位置で光源を直視する（角膜照度18 lx）

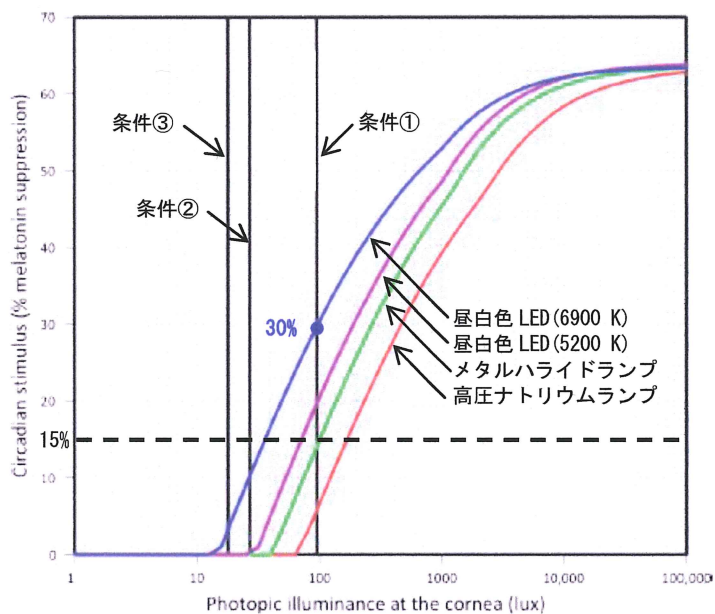
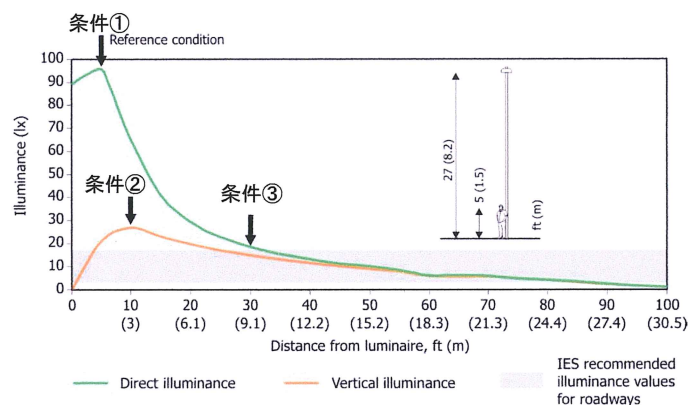


図 4-1-3. 道路照明環境曝露によるメラトニン分泌抑制の程度²⁾

環境曝露はいずれの条件でも 1 時間とし、LED2 条件（相関色温度 5200 K、6900 K）、メタルハライドランプ（4000 K）、高圧ナトリウムランプ（2050 K）の光源 4 条件について検討している。

結果は図 4-1-3 に示す通りで、最も影響が大きい条件は昼光色 LED(6900 K)の条件①（1.5 m 離れた位置から光源を 1 時間注視）で、メラトニン分泌抑制率は 30%と試算された。それ以外の条件では、メラトニン分泌抑制率は全て 15%未満³⁾となっている。メラトニン分泌抑制への影響が最も大きい昼光色 LED であっても、夜間屋外で 1 時間光源を注視し続けることはほとんどないため、問題ないレベルであると結論している。

夜間屋外における短時間の曝露よりも、夜間の屋内における長時間曝露による健康影響が問題視されている。ヨーロッパでは平均 18% (6.4%~34%、最多国はクロアチア) の人が夜間勤務 (国によって定義は異なるが、夜 11-12 時から翌朝の 5-6 時までの勤務を指すことが多い) を含む交代勤務に従事している (2005 年第 4 回 EU 就業状況調査による)。またアメリカでも、常勤の約 15% (男性: 16.7%、女性:12.4%) が交代勤務に従事している (2004 年米労働統計局による)。Waterhouse らによれば、10%は生涯特に何も訴えないが、約 20%の交代勤務者はごく短期間の就労の後、深刻な健康問題から交代勤務を辞めざるを得なく、残りの 70%も何らかの不快感や健康問題を抱えている⁶⁾。EU においては、夜間勤務が年間就業日数の約 1/3 である 80 日間を超えた場合には検視的監査を義務付ける国や、夜間勤務の最大時間 (8-10 時間) を法律で定めている国もある。

夜間の光曝露による健康影響として、夜間に大量の光を浴びる場合 (1 週間に 2 回以上、あるいは一晩に 2 回以上) 乳癌の発症リスクが有意に高いとの報告があるが⁷⁾、国際がん研究機関 (International Agency for Research on Cancer, IARC) からも、看護師と客室乗務員を対象とした疫学調査の結果に基づき、夜間長時間勤務している女性は、夜間勤務を行わない女性に比べ乳がん発症のリスクが高く、この傾向は女性客室乗務員の乳がん発症の調査結果からも確認されたことが報告されている⁸⁾⁹⁾。夜間勤務を行う女性の乳がんのリスクに関する調査結果を表 4-1-1、飛行機乗務員のがんのリスクに関する調査結果を表 4-1-2 にまとめる。

表 4-1-1. 夜間勤務による乳がんのリスクに関する調査研究⁹⁾

引用文献	調査地域	調査人数 職業	調査期間	乳がん患者数 (参照条件に対する相対リスク)	P
Schernhammer et al.(2006)	米国 11 州	121,701 名 看護師	1976~1998 年	夜間勤務の経験なし:925 名 (1.0) 1~14 年:1,324 名(1.08) 15~29 年:134 名(1.08) 30 年以上:58 名(1.36)	0.02
	米国 14 州	116,087 名 看護師	1989~2001 年	夜間勤務の経験なし:441 名 (1.0) 1~9 年:816 名(0.98) 10~19 年:80 名(0.91) 20 年以上:15 名(1.79)	0.65
Schwartzbaum et al.(2007)	スウェーデン	1,148,661 名	1960,1970 年	1970 年に交代勤務:70 名(0.94) 1960・1970 年とも交代勤務:28 名(0.97)	-
Tynes et	ノルウェー	2,619 名	1920~1980 年	<50 歳未満>	0.97

al.(1996)	ー	ラジオ・電 報局		夜間勤務の経験なし:12名(1.0) 3.1年未満:5名(0.3) 3.1年以上:12名(0.9) <50歳以上> 夜間勤務の経験なし:3名(1.0) 3.1年未満:6名(3.2) 3.1年以上:12名(4.3)	0.13
Hansen(2001)	デンマー ク	7,035名	1964～1999年	5年以上夜間勤務:434名(1.5) 6年以上夜間勤務:117名(1.7)	-
Lie et al.(2006)	ノルウェ ー	44,835名 看護師	1960～1982年	夜間勤務の経験なし:50名(1.0) 1～14年:362名(0.95) 15～29年:101名(1.29) 30年以上:24名(2.21)	0.01
Davis et al.(2001)	シアトル	乳がん患者 813名 乳がんなし 793名	1992～1995年	19:00～9:00勤務が3日/週以上 なし:682名(1.0) 1年未満:19名(1.2) 1～3年:20名(1.4) 3～4.6年:9名(0.6) 4.7年以上:33名(2.3)	0.01
O'Leary et al.(2006)	ロングア 일랜드	乳がん患者 576名 乳がんなし 585名	1996～1997年	夕方 or 夜間勤務:174名(1.04) 夕方勤務(午後～2:00)のみ:148 名(1.21) 夜間勤務(19:00～翌朝)のみ:26 名(0.55)	-
Travis et al.(2004)	ガーンジ ー(UK)	5,093名	1977～1985年	尿中クレアチニン濃度 高:46名(0.99) 18.32 ng/mg 以下:26名(0.99) 12.98 ng/mg 以下:20名(1.09)	-
Schernhamme r & Hankinson(20 05)	米国	乳がん患者 147名 乳がんなし 291名 看護師	1996～1999年 2001年	メラトニン高濃度(0.59)	0.13

表 4-1-2. 飛行機乗務員のがんリスクに関する調査研究⁹⁾

引用文献	調査地域	性別 調査人数	調査期間	がん種別／がん患者数
Pukkala et al.(1995)	フィンランド	女性 1,577名	1967～1992年	乳がん／全調査者: 20名(SIR: 1.87) 2年以上勤務: 0名(SIR: 2.0)
Lynge(1996)	デンマーク	女性 915名	1970～1996年	乳がん／全調査者: 14名(SIR: 1.61)
Wartenberg & Stapleton(1998)	米国	287名 退職した乗務員		乳がん／全調査者: 7名(SIR: 2.0)
Haldorsen et al.(2001)	ノルウェー	女性 3,105名 男性 588名	1950～1994年	乳がん／全調査者:38名(SIR: 1.1) 15年以上勤務: 5名(SIR: 1.0)
Rafnsson et al.(2001)	アイスランド	1,532名	1955～1997年	乳がん／全調査者:26名(SIR: 1.5)
Blettner et al.(2002)	ドイツ	1953年以降に雇用された女性 16,014名		乳がん／全調査者:19名(SIR: 1.28)
Reynolds et al.(2002)	カリフォルニア	44,021名	1988～1995年	乳がん／全調査者:60名(SIR: 1.42) 国際線:31名(SIR: 1.79) 勤続15年以上:49名(SIR: 1.57) 勤務開始年齢25歳以下:41名(SIR: 1.72)
Linnarsjö et al.(2003)	スウェーデン	1957～1994年に雇用された女性 2,324名		乳がん／全調査者:33名(SIR: 1.30) 国際線:31名(Odd比:3.27)
Zebb et al.(2003)	ヨーロッパ諸国	1961～1997年に勤務していた男性 33,063名 女性 11,079名		乳がん／1961～1997年に勤務: 174名(SMR: 1.11) 勤務年数10年未満: 33名(SMR: 1.11) 10年以上20年未満: 19名(SMR: 1.27) 20年以上: 7名(SMR: 0.80)

Rafnsson et al.(2003)	アイスランド	女性客室乗務員 140 名		乳がん/ジェット機運航前: 29 名 (Odd 比:5.24) ジェット機運航以降: 43 名 (Odd 比:0.82)
Kajo et al.(2005)	フィンランド	1975~2000 年に乳がん と診断された 27 名の客室乗務員		積算曝露放射線量: NG 月経周期の乱れ: NG 睡眠リズムの乱れ: NG
Band al.(1990)	カナダ	1 年以上勤務しているパイロット 913 名	1950~1988 年	前立腺がん/6 名 (SIR: 1.54)
Band al.(1996)	カナダ	1 年以上勤務しているパイロット 2,680 名	1950~1992 年	前立腺がん/34 名 (SIR: 1.87)
Irvine & Davies(1992)		死亡した 446 名	1966~1989 年	前立腺がんによる死亡: 10 名 (PMR: 2.12)
Irvine & Davies(1999)	英国	パイロット 6,209 名 航空機関士 53 名	1950~1992 年	前立腺がん/パイロット: 15 名 航空機関士: 3 名
Gundestrup & Storm(1999)	デンマーク	男性パイロット 3790 名 女性パイロット 87 名	1943~1995 年	ジェット機乗務: 3 名 (SIR: 0.8) 非ジェット機乗務: 3 名 (SIR: 0.8)
Haldorson et al.(2000)	ノルウェー	男性パイロット 3,815 名	1946~1996 年	全調査者: 25 名 (SIR: 1.0) 20 mSv 以上曝露: 6 名 (SIR: 1.8)
Rafnsson et al.(2000)	アイスランド	1937~1985 年に勤務していた男性パイロット 458 名	1955~1997 年	全調査者: 5 名 (SIR: 1.28) 国際線乗務者: 4 名 (SIR: 1.41)

Hammar et al.(2002)	スウェーデン	1957～1994年に雇用されたパイロット 1,490 名 軍用機パイロット 2,808 名	1961～1996 年	一般機: 18 名(SIR: 1.24) 軍用機: 49 名(SIR: 1.17)
Pukkala et al.(2002)	デンマーク, フィンランド, アイスランド, ノルウェー, スウェーデン	1921～1996年に雇用された男性パイロット 10,032 名	1921～1997 年	全調査者: 64 名(SIR: 1.21) 60 歳以上で 10,000 時間以上乗務: 8 名(RR: 3.88)
Zebb et al.(2002)	ドイツ	男性パイロット 6061 名		8 名(SMR: 1.26)
Zebb et al.(2003)	ヨーロッパ諸国	1961～1997年に勤務した男性 33,063 名 女性 11,079 名		5 名(SMR: 1.09)
Blettner et al.(2003)	デンマーク, フィンランド, ドイツ, 英国, ギリシャ, アイスランド, イタリア, ノルウェー, スウェーデン	1921～1997年に勤務したコックピット乗務員 27,797 名		54 名(SMR: 0.94)

参考文献

- 1) International Dark Sky Association, Press release: Blue light threatens animals and humans, http://docs.darksky.org/PR/PR_Blue_White_Light.pdf (2009)
- 2) Rea, M. S., Smith, A., Bierman, A. and Figueiro, M. G.: The potential of outdoor lighting for stimulating the human circadian system The potential of outdoor lighting for stimulating the human circadian system, pp. 1-11 (2010)
- 3) Rea, M. S., Figueiro, M. G., Bullough, J. D. and Bierman, A.: A model of phototransduction by the human circadian system, *Brain Research Reviews* 50(2), pp. 213-228 (2005)
- 4) Berman, S. M., Fein, G., Jewett, D. L., Saika, G. and Ashford, F: Spectral determinants of steady-state pupil size with full field of view, *Journal of the Illuminating Engineering Society* 21(2), pp. 3-12 (1992)
- 5) Figueiro, M. G., Rea, M. S. and Bullough, J. D.: Does architectural lighting contribute to breast cancer?, *Journal of Carcinogenesis* 5(1):20 (2006)
- 6) Waterhouse JM, Folkard S, Minors DS Shiftwork, health and safety. An overview of the scientific literature, pp. 1978–1990 (1992)
- 7) 例えば、Erin S. O’Leary, Elinor R. Schoenfeld, Richard G. Stevens, Geoffrey C. Kabat, Kevin Henderson, Roger Grimson, Marlie D. Gammon and M. Christina Leske: Shift Work, Light at Night, and Breast Cancer on Long Island, New York, *Am J Epidemiol.*, Vol. 164, No. 4, pp. 358-366 (2006)
- 8) IARC プレスリリース No180: IARC Monographs finds cancer hazards associated with shiftwork, painting and firefighting, <http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2007/pr180.html> (2007)
- 9) IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Painting, Firefighting, and Shiftwork, Vol. 98, pp. 563-764 (2010)

4-2-1. 夜間屋内照明の影響に関する既往研究報告

Exposure to room light before bedtime suppresses melatonin onset and shortens melatonin duration in humans.

Gooley JJ, Chamberlain K, Smith KA, Khalsa SB, Rajaratnam SM, Van Reen E, Zeitzer JM, Czeisler CA, Lockley SW.

J Clin Endocrinol Metab. 2011 ;96(3):E463-72

研究目的

- ・最近の研究より、室内照明（500lx 以下）でもメラトニン抑制や位相変化が確認されている。
- ・100lx の白色光でも最大の半分程度のメラトニン抑制を引き起こす。
- ・380lx 以下の室内照明が睡眠—覚醒サイクルを前進させたことも報告されている。
- ・以上の研究より、就寝前の室内照明レベルの光曝露がメラトニン分泌を抑制するだろう。本研究は、その可能性について検討した。

方法

被験者

- ・被験者は 18-30 歳の 116 名であった。
- ・各被験者は、少なくとも 2 週間前から睡眠—覚醒サイクル（8 時間睡眠と 16 時間覚醒）を維持した。それはアクチグラムで確認した。

全被験者共通プロトコル

- ・実験最初の 3 日間は各被験者で決められた睡眠—覚醒サイクルを維持した。
- ・照明は 4100K の蛍光灯であった（UV カットフィルターを装着）。
- ・照明条件は水平面照度 200lx 以下（明条件；鉛直面照度 150lx 以下）と 3lx 以下（Dim 条件）の 2 条件。
- ・明条件の水晶体レベルでの照度は 60-130lx であった。
- ・30-60 分おきにメラトニン分析のために採血した。

研究 1

- ・104 名の被験者が参加した。
- ・実験スケジュールは Fig 1 A に記載。
- ・最初の 2 日間は Dim 条件下で睡眠し、覚醒時は明条件下で過ごした（Day1-2）。
- ・3 日目の夕刻から Dim 条件下で過ごした（Day3）。
- ・その後、Dim 条件下でコンスタントルーチンを行った（Day3 起床後から）。

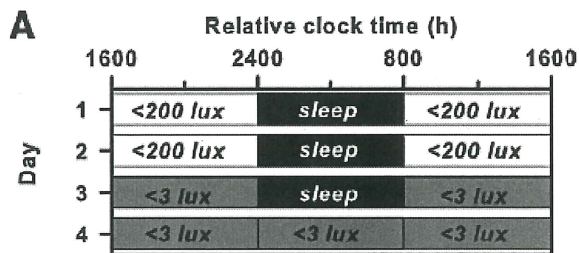


Fig 1 A

研究 2

- ・ 12名の被験者は14日間プロトコルを行った。
- ・ 最後の4日間（6日目もしくは10日目から）を分析対象とした。
- ・ 実験スケジュールは Fig 4 A に記載。
- ・ 最初の3日間は Dim 条件下で睡眠し、その他は明条件下で過ごした (Day6-8, Day10-12)。
- ・ その後、明条件下でコンスタントルーチンを行った (Day8, Day12 の起床後)

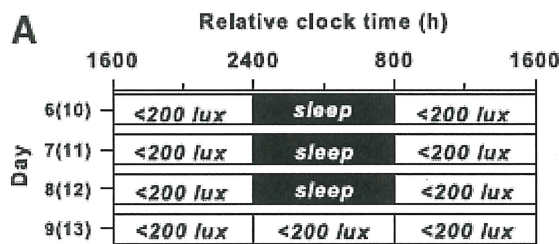


Fig 4 A

解析方法

- ・ メラトニン抑制は一晩の AUC (Area under the curve) から算出した。
- ・ メラトニン分泌開始 (MLTon) と分泌終了 (MLToff) を位相判断に用いた。

結果

研究 1

- ・ 睡眠前 (16-24 時) に明条件に曝露された場合 (Day2-3) は、Dim 条件 (Day3-4) に比べ MLTon が遅く、分泌持続時間も短かった (Fig 1 B, Table 1)。

Table 1

	Median (25%, 75%)		
	Light (<200 lux), d 2-3	Dim (<3 lux), d 3-4	Dim (<3 lux), d 4-5
MLT onset (h min)	23 39 (22 18, 00 55)	21 54 (20 58, 23 14) ^a	22 09 (21 13, 23 21) ^{a,b}
MLT offset (h min)	08 16 (07 20, 09 34)	08 23 (07 12, 09 22)	08 26 (07 17, 09 30) ^b
MLT duration (h)	8.75 (8.25, 9.42)	10.28 (9.68, 10.85) ^a	10.13 (9.68, 10.60) ^a
Phase angle MLT onset (h)	0.38 (-0.32, 1.22)	1.95 (1.37, 2.63) ^a	1.68 (1.07, 2.45) ^{a,b}
Phase angle MLT offset (h)	-8.52 (-8.92, -7.55)	-8.33 (-8.87, -7.50)	-8.38 (-8.87, -7.77) ^b

・これらは MLTon (Fig 2 A) と分泌時間の度数分布 (Fig 2 B) でも確認できる。

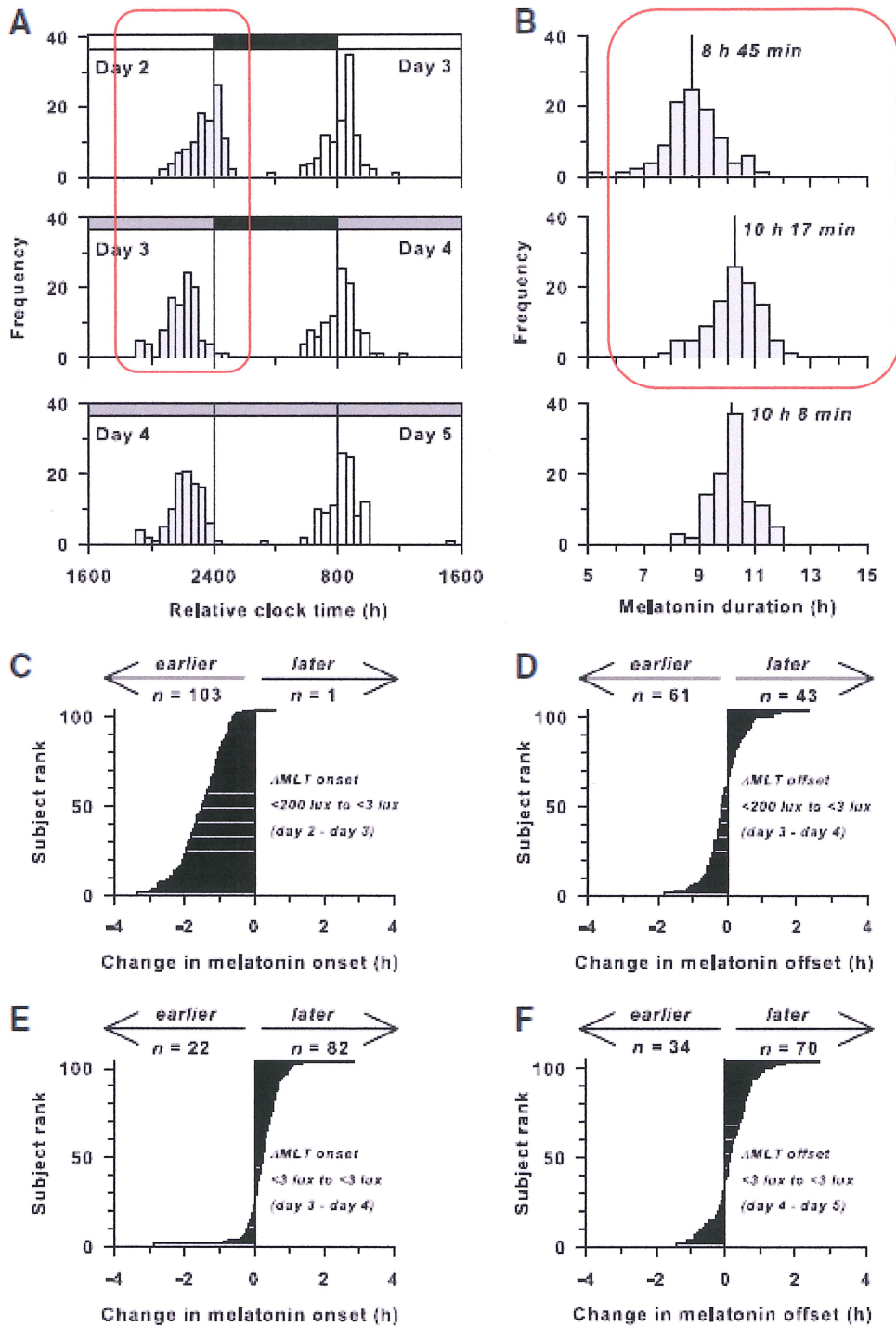


Figure 2

研究 2

- ・睡眠時間に室内照明に曝露した場合に 5 名中 4 名でメラトニン分泌が抑制された (Fig 4 B)。

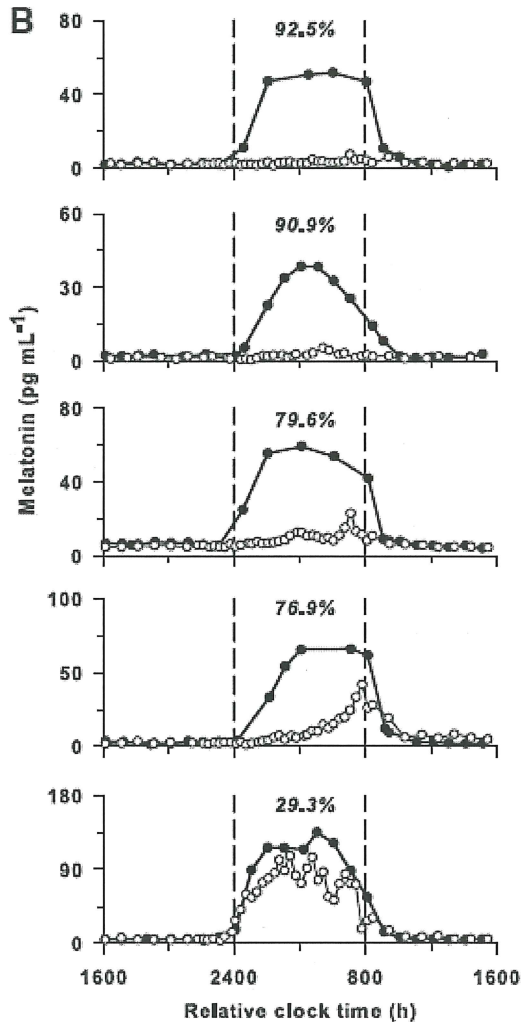


Figure 4 B

まとめ

- ・200 以下の照明でもメラトニン分泌開始が遅れ、分泌持続時間が短くなった(研究 1 より)。
- ・このメラトニン分泌開始 (MLTon) の遅れは生体リズム位相が遅れたことによるものではなく、単なる光によるメラトニン分泌抑制によるものである。なぜならメラトニン分泌終了 (MLToff) は変化していないからである。
- ・1 晩中、室内照明に曝された場合では 5 名中 4 名の被験者で 73% のメラトニン抑制が確認された (研究 2 より)。
- ・位相の変化にかかわらず、睡眠前の室内照明はメラトニン分泌を抑制し、1 晩のメラトニン分泌継続時間を短くする (メラトニン分泌の総量を減少させる) ことから、健康リスクを高めるかもしれない。

The spectral composition of evening light and individual differences in the suppression of melatonin and delay of sleep in humans.

Santhi N, Thorne HC, van der Veen DR, Johnsen S, Mills SL, Hommes V, Schlangen LJ, Archer SN, Dijk DJ.

J Pineal Res. 2011. 1600-079X.2011.00970.x. [Epub ahead of print]

研究目的

- ・我々が家庭にて曝される人工照明はメラトニン分泌を抑制する可能性がある。
- ・メラトニンは睡眠傾向 (sleep propensity) と睡眠開始 (sleep onset) と深く関係していることから、夕刻の人工照明が睡眠に作用することが予想される。
- ・光による生体への作用は主に錐体、桿体、ipRGCに関係し、特にipRGCが重要である。
- ・本研究では自宅での使用が想定される範囲において各視細胞へ作用力の異なる人工照明を被験者に曝露し、メラトニン分泌、眠気、睡眠脳波からの睡眠開始と睡眠構造を評価した。

方法

被験者

- ・被験者は74名の男女(男性49名)をスクリーニングし、22名が最終的に実験を行った。
- ・時計遺伝子、Per3の多型を評価した(この論文ではデータなし)。

プロトコル

- ・1週間から15日間を順応期間とし、各被験者の睡眠・覚醒時間をアクチグラムで測定し、各被験者の睡眠開始時間を算出した。
- ・実験期間の1週間前より、各被験者の睡眠開始時間から8時間の睡眠をとるよう教示した。
- ・実験期間は少なくとも中1日を明けて、各照明条件を行った。
- ・実験初日被験者は16時~16時半に入室した。
- ・睡眠開始4時間25分前から4時間、光曝露を行った。
- ・光曝露はライトボックスにて行った (Fig 2 A)。
- ・光曝露後に簡単な認知課題(15分間)を行わせ、睡眠をとった。
- ・光条件は5条件であった (Table1 ; Fig 1B)。
- ・アクチグラムでは活動量と全波長域の照度、赤(600-700nm)、緑(500-600nm)、青(400-500nm)それぞれの放射照度が測定された。
- ・30分おきにメラトニン分析のために採血した。



Fig 2 A

Table 1 各光条件の物理特性と各光受容器への作用量

Light condition	Lamp type	Illuminance specifications (Lux)	Illuminance measured (Lux)	Melanopsin-weighted photon density (photons/m ² /s)	L-cone-weighted photon density (photons/m ² /s)	M-cone-weighted photon density (photons/m ² /s)	S-cone-weighted photon density (photons/m ² /s)	Photon density (photons/m ² /s)
Near-Darkness	TLD827	1	< 1	2.75×10^{15} (1)	4.86×10^{15} (1)	3.18×10^{15} (1)	1.37×10^{15} (1)	1.57×10^{16} (1)
Blue-Depleted	TL16	225	259 ± 5	1.2×10^{17} (2)	1.20×10^{18} (4)	7.97×10^{17} (4)	7.61×10^{15} (2)	1.45×10^{18} (4)
Blue-Intermediate	TLD827	135	127 ± 9	1.32×10^{17} (3)	6.64×10^{17} (3)	4.16×10^{17} (2)	4.3×10^{16} (3)	1.07×10^{18} (2)
Blue-Enhanced	17000	135	146 ± 10	4.57×10^{17} (4)	5.99×10^{17} (2)	4.92×10^{17} (3)	3.24×10^{17} (4)	1.25×10^{18} (3)
Bright	17000	700	773 ± 29	2.33×10^{18} (5)	3.11×10^{18} (5)	2.55×10^{18} (5)	1.63×10^{18} (5)	6.4×10^{18} (5)
Blue-Enhanced								

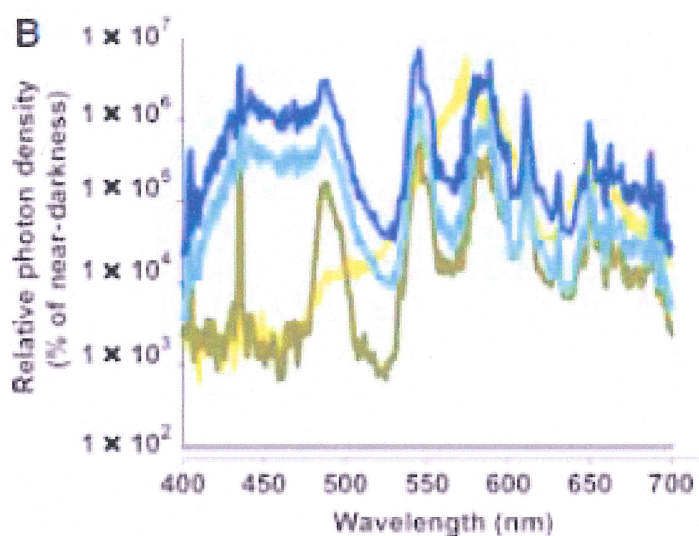


Figure 2 B 各光条件の波長構成 (フォトン数)

結果

- ・アクチグラムで評価した実験期間前の自宅における各被験者の睡眠開始時間は、平均 23 : 53 (22 : 00–02 : 00) であった。平均起床時間は 07 : 53 (Fig 1)。

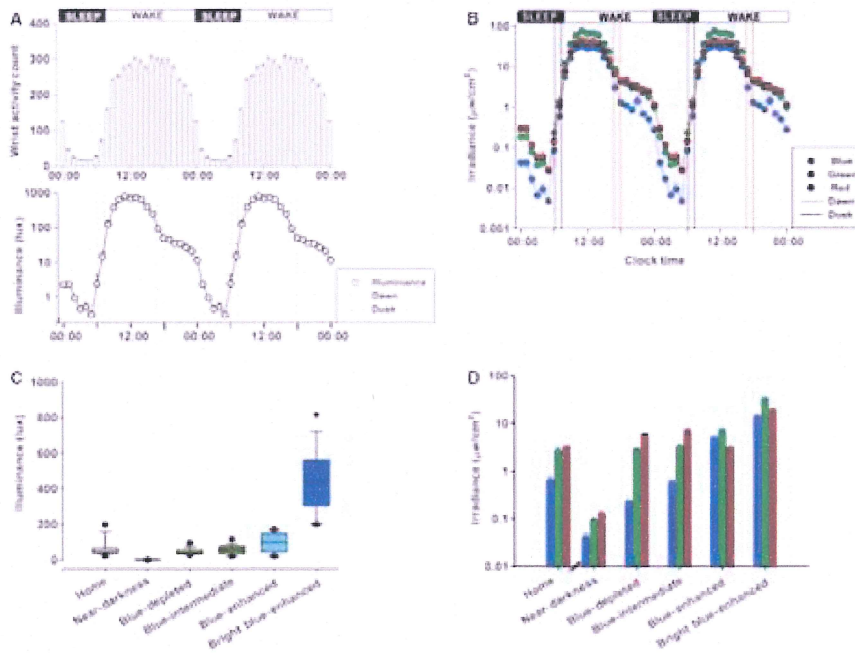


Fig 1 A—自宅での平均活動量と光履歴；B—自宅での RGB 放射照度

C—自宅と各光条件の照度；D—自宅と各光条件の RGB 放射照度。

- ・青色光を多く含む光条件 (B-E、BB-E) は青色光の少ない光条件 (N-D、B-D) よりも睡眠潜時 (ノンレム睡眠開始までの時間 : SOL) や持続性睡眠潜時 (最初にレム睡眠が出現するまでの時間 : LPS)、第二睡眠段階までの潜時 (S2 latency)、深睡眠 (第三段階) 潜時 (SWSLAT) が有意に長くなった (Table 2)。

Table 2. Sleep Parameters. Least-square means \pm S.E.M. (min)

Sleep parameters (min)	Near-Darkness (N-D) n = 20	Blue-Depleted (B-D) n = 22	Blue-Intermediate (B-I) n = 22	Blue-Enhanced (B-E) n = 20	Bright Blue-Enhanced (BB-E) n = 21
LPS (min)*	10.5 \pm 2.68 (B-E**; BB-E**)	12.0 \pm 2.61	11.5 \pm 2.71 (BB-E*)	18.0 \pm 2.69	18.0 \pm 2.65
SOL (min)**	9.1 \pm 2.68 (B-E**; BB-E**)	9.4 \pm 2.61 (B-E*; BB-E*)	10.1 \pm 2.71 (B-E*; BB-E*)	16.0 \pm 2.69	16.0 \pm 2.65
S2 latency (min)*	13.8 \pm 2.77 (B-E**; BB-E**)	14.0 \pm 2.7 (B-E*; BB-E*)	15.6 \pm 2.81	21.5 \pm 2.78	20.7 \pm 2.74
SWSLAT (min)*	22.2 \pm 3.05 (B-E**; BB-E**)	23.2 \pm 2.97 (B-E*; BB-E*)	23.4 \pm 3.09 (BB-E*)	29.4 \pm 3.06	31.3 \pm 3.01
REMLAT (min)	75.4 \pm 7.34	77.1 \pm 7.09	85.2 \pm 7.46	87.1 \pm 7.36	98.4 \pm 7.23
TST (min)	458.5 \pm 3.57	460.0 \pm 3.45	458.9 \pm 3.64	451.6 \pm 3.58	453.1 \pm 3.53
WASO (min)	12.7 \pm 2.14	11.0 \pm 2.05	11.2 \pm 2.19	12.5 \pm 2.14	11.4 \pm 2.1
Stage 0 (min)	21.5 \pm 3.57	20.4 \pm 3.45	21.2 \pm 3.64	28.4 \pm 3.59	29.9 \pm 3.53
Stage 1 (min)	39.2 \pm 3.11	37.2 \pm 3.02	43.5 \pm 3.15	44.5 \pm 3.12	41.8 \pm 3.08
Stage 2 (min)	203.2 \pm 5.96	209.1 \pm 5.85	203.4 \pm 6.02	198.8 \pm 5.98	204.7 \pm 5.93
Stage 3 (min)	32.6 \pm 2.54	31.3 \pm 2.45	26.6 \pm 2.58	30.4 \pm 2.55	28.8 \pm 2.51
Stage 4 (min)	67.0 \pm 5.81	66.8 \pm 5.74	72.7 \pm 5.84	67.9 \pm 5.82	69.8 \pm 5.79
SWS (min)	99.5 \pm 6.37	98.1 \pm 6.30	99.2 \pm 6.40	98.5 \pm 6.38	98.6 \pm 6.35
REM (min)	116.8 \pm 4.31	115.3 \pm 4.18	112.5 \pm 4.37	109.8 \pm 4.32	107.7 \pm 4.23
SEFF %	95.1 \pm 0.74	95.8 \pm 0.72	95.6 \pm 0.76	94.1 \pm 0.75	94.4 \pm 0.73

- ・メラトニン分泌は Dim 条件で多く分泌され、明るい高色温度条件 (BB-E) でほとんど抑制され、その他の条件で適度に抑制された (Fig 3 A)。
- ・メラトニン分泌の AUC はメラノプシン作用量に伴い減少した (Fig 3 B)。
- ・眠気感はメラノプシン作用量に伴い抑制された (Fig 3 C D)。
- ・入眠までの時間は、メラノプシン作用量に伴い長くなった (Fig 3 E)。

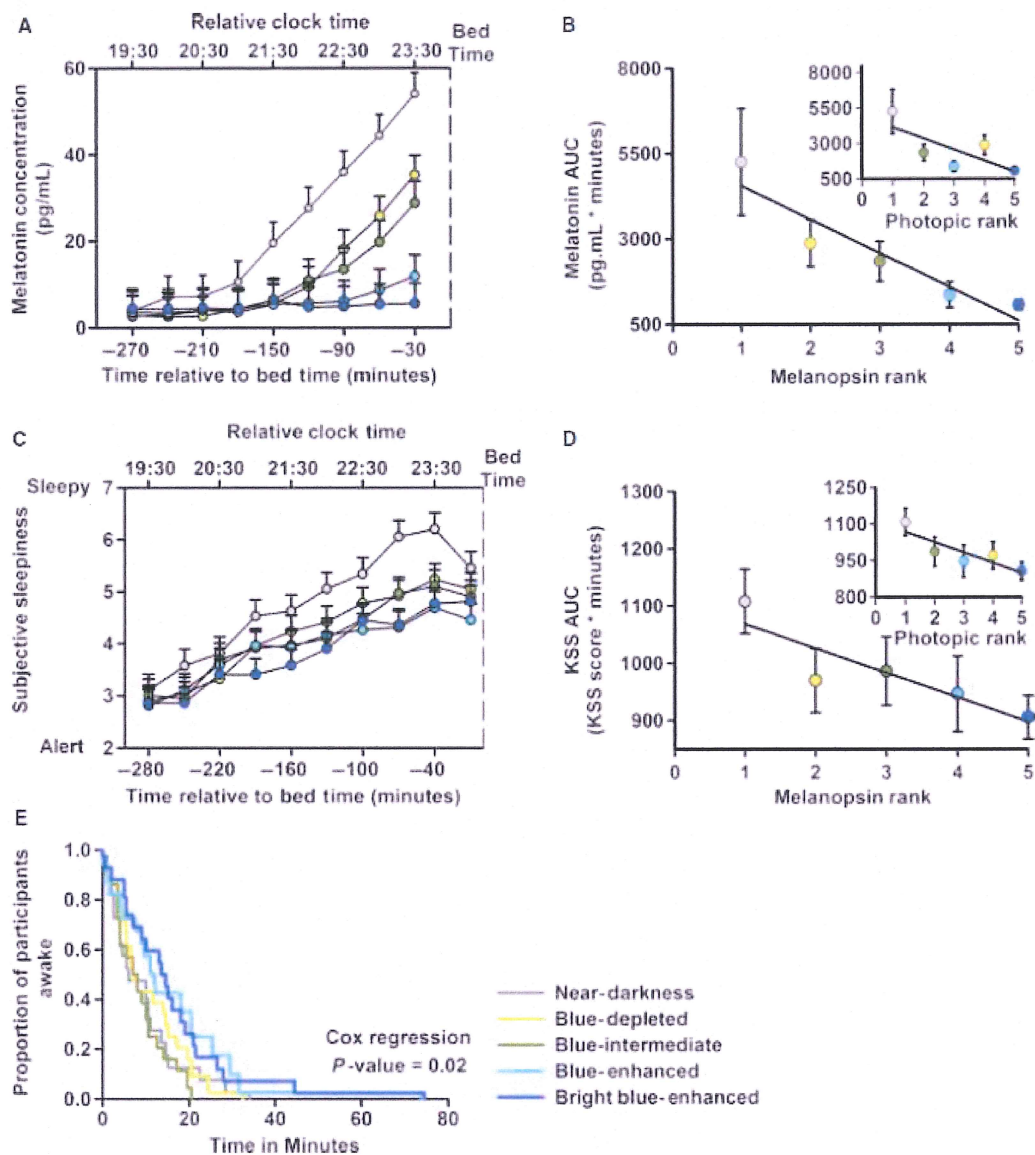


Fig 3

- ・メラトニン分泌と眠気、各睡眠パラメータにおいて、メラノプシンの寄与が他の視細胞（棒体とL・M錐体）よりも有意に高かった（Fig 4）。ただし、メラノプシンとS錐体を区別することはできなかった。
- ・異なる青色光条件下でのメラトニン AUC に有意な相関があり、光感受性の個人差が確認された（Fig 5）。

・メラトニン分泌開始と睡眠開始時間にも個人間の相関が得られた (Fig 5)。

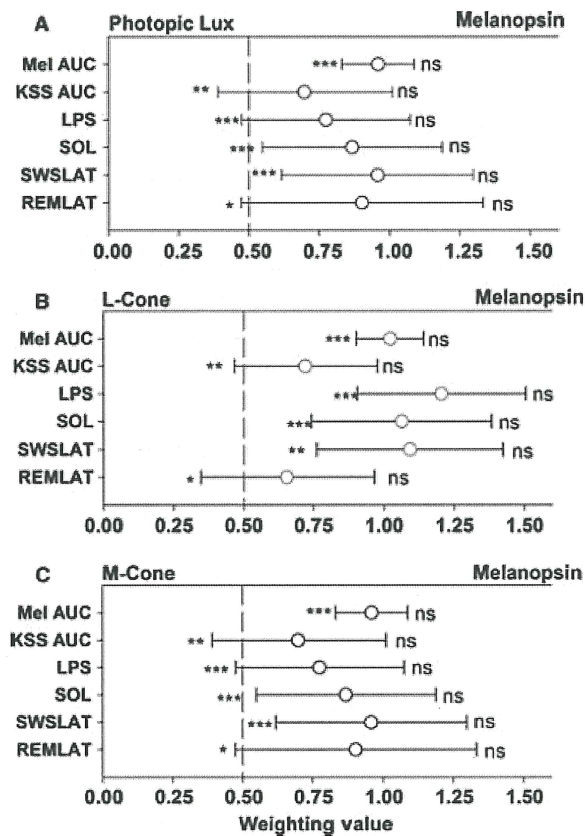


Fig 4

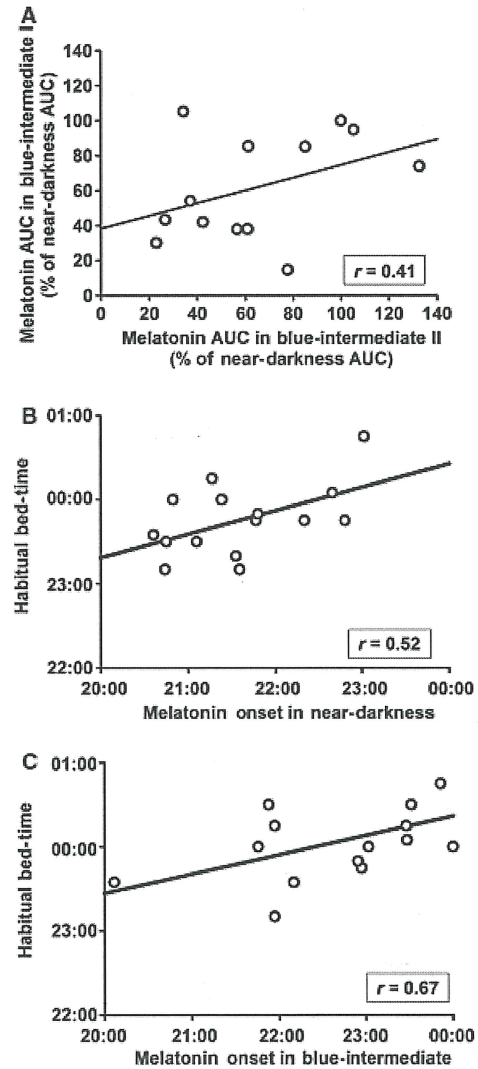


Fig 5

まとめ

- ・家庭で使用される可能性がある照明光がメラトニン分泌を抑制し、睡眠開始を遅らせることが示された。
- ・以上の作用は主にメラノプシンに寄与している。
- ・光に対するメラトニン分泌抑制の個人差が確認され、メラトニン分泌開始が遅い個人は睡眠開始も遅れていることが示された。
- ・夜間の光による作用は波長構成 (メラノプシンへの作用量) を考慮することで軽減できることが示された。

4-2-2. 夜間屋内照明によるメラトニン抑制作用のシミュレーション

メラトニン分泌抑制におけるアクションスペクトルを考慮すると、夜間の受光において生じるメラトニン分泌抑制には、その光の強度に加え、波長構成も影響すると考えられる。これら強度と光源の波長構成をパラメーターとして、生じるメラトニン分泌抑制率を計算する方法が Rea らによって提案されており¹⁾、確実なメラトニン分泌抑制が生じる抑制率を15%以上としている²⁾。

そこで、上記計算方法を用い、屋内照明において一般的に使用されている各種光源（表4-2-2）による受光（角膜照度100 lx、1時間曝露を想定）におけるメラトニン抑制率のシミュレーションを実施した。その結果、色温度4000K以上の全ての光源による受光において、15%以上のメラトニン分泌抑制が生じることが確認された（図4-2-2）。

光源種別	光色/種類	光源数（製造元）
LEDモジュール	色温度2700K~8000K	16光源（3社）
LED電球	電球色相当、昼白色相当、昼光色相当	7光源（4社）
蛍光灯	電球色、白色、昼白色、昼光色	4光源（1社）
電球	シリカ電球、ミニハロゲン電球	2光源（1社）

表 4-2-2. 作用量予測に用いた光源

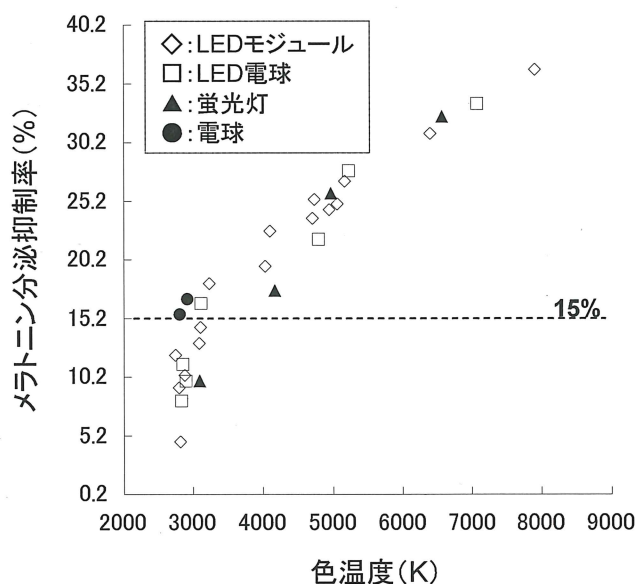


図 4-2-2. Rea らのモデルに基づいたメラトニン分泌抑制率の計算結果

(角膜照度 100 lx、1 時間曝露を想定して計算)

いずれも横軸を色温度の実測値としてプロット。

また、同様に上記計算方法を用い、電球色（4製品）と昼白色（2製品）のLED電球を光源とする受光におけるメラトニン分泌抑制率が15%となる角膜照度を算出したところ、電球色で平均約115lx、昼白色で平均約50lxであった。

これらの結果は、一般的な屋内の生活環において照明光曝露によるメラトニン分泌抑制が生じている可能性を示唆するものである。また日本においては、欧米と比べて夜間においても昼白色、昼光色といった比較的色彩温度の高い照明が嗜好されている傾向を考慮すると、その可能性はさらに高いと考えられる。

このようなメラトニンの分泌抑制が、睡眠や概日リズムに具体的にどのような悪影響を及ぼすのかについては不明な点も多いが、メラトニンが脳にある生物時計機構からの時間情報を全身に伝達するホルモンであることからすると、概日リズムの不健全性を引き起こす一要因と考えることができる。今後は、夜間の受光量や使用する光源の波長、色温度などについて、日本独自に何らかの指針を検討する必要があるだろう。

（野口公喜）

<参考文献>

- 1) Rea, M.S. and Figueiro, M.G. et al.: Circadian Light, J Circadian Rhythms , 8-1, pp.2-10 (2010)
- 2) Figueiro, M.G., Rea, M.S. and Bullough, J.D.: Does architectural lighting contribute to breast cancer?, Journal of Carcinogenesis, 5(1), p20 (2006)

5-1. 海外照明関連団体における動向

5-1-1. ELC、CELMA の動向

ELC（欧州ランプ工業会）と CELMA（欧州照明器具工業会）は、2011年9月に、照明の生物学的影響に関する見解を、Position Paper“ Biological efficient illumination –Socio-economic benefits by application of scientific evidence in lighting”（以下、PP）として公式に発表した。この PP で述べられている生物学的影響とは、サーカディアンリズムへの影響に関するものである。

PP には、照明がサーカディアンリズムに与える影響の科学的根拠と合わせて QOL（生活の質）を向上させる日中と日没後の照明のあり方や、その応用例として学校・オフィス・老人ホームなどがあることが記載されており、これからますますの普及が期待される LED 照明は、省エネ性だけでなくサーカディアンリズムへの影響も考慮すれば、QOL の向上とともに、経済的にも良い効果が期待できることを述べている。また、現在欧州で進められている ICT PSP（ICT Support Program）に支援を受けている CEN TC169（欧州標準化委員会の技術委員会“ Light and Lighting”）の WG13 では照明とサーカディアンリズムに関する規格化についても検討されており、欧州全体として考えていることも述べられている。

現在主流の青色 LED に黄色蛍光体で白色にしている LED 照明は、欧州ではしばしば健康に悪影響を与えるのではないかと懸念されることがあるが、ELC と CELMA は、照明がサーカディアンリズムに及ぼす影響の科学的根拠から考えて、その知見を適切に応用すれば、悪影響はなく、むしろ QOL を向上させることができると考えているようである。また、日本で話題になるサーカディアンリズムへの照明の影響は主に夜間であるが、PP の中では夜間だけでなく日中でのあり方についても積極的に触れてられている。照明がサーカディアンリズムに与える影響から QOL を考えた場合、日中は明るい方が好ましいということになる。PP 内で日中の照明について触れるのは、省エネ化による照度低下によって、日中と夜間との間で明るさのメリハリが無くなることへの危険性を暗に示しているのかもしれない。

Reference

ELC-CELMA: Biological efficient illumination Socio-economic benefits by application of scientific evidence in lighting, Position paper (2011) [internet]
[http://www.celma.org/archives/temp/CELMA-ELC_Health_WG\(SM\)005_ELC-CELMA_Position_Paper_Biological_Efficient_Illumination_Final_Sept_2011.pdf](http://www.celma.org/archives/temp/CELMA-ELC_Health_WG(SM)005_ELC-CELMA_Position_Paper_Biological_Efficient_Illumination_Final_Sept_2011.pdf)

5-1-2. IESの動向

IES（北米照明学会）は、2010年に、屋外照明の人の健康に与える影響について Position Statement“ Effect of exterior lighting on human health”（以下、PS）を公式に発表した。その内容は、2008年にまとめられた技術報告書 TM-18“ Light and Human Health” に示されている光放射と健康との関係に準拠している。

発表された PS には、目に入射する光は人の健康に直接的にも間接的にも影響を与えるが、日没後の一般的な屋外照明の光と癌などの重篤な疾患との間には、過去の研究成果を見る限り、明確な関係は認められないと記載されている。また、人の健康（例えば、メラトニン分泌や生物時計への影響）を考慮した照明設計をするためには、比視感度とは異なる作用スペクトルが必要であるとも述べている。

照明と健康に関する研究は、しばしば研究成果の一部だけが一人歩きをして、夜間の照明は健康に悪影響を及ぼすのではないかということが話題に挙がることが多い。この PS はそのような話題に対する IES の回答であるといえる。数多くの研究によって、光放射が人の健康に影響を与えることは明らかになったが、一方でその知見はまだまだ不明瞭なことが多いといえる。IES としては、研究でのデータを蓄積するだけでなく、実環境でのデータも蓄積し、知見を充実させることが重要であるという姿勢をとっている。

そのほか IES は、PS や技術報告書以外でも、2011年に発行された書籍“ Lighting handbook, 10th edition”の中で、照明と健康との関係について触れており、サーカディアンリズムに影響を与える非視覚的システムや照明の特徴（作用スペクトル、タイミング、光曝露時間など）について紹介している。ただ、書籍の中では、健康という言葉を大きく捉えており、サーカディアンリズム以外にも、照度やグレアなどについても健康関連の要素として紹介している。IES は、健康に良い照明とは、サーカディアンだけでなく、昔から重要視されている照度やグレアなどの基本要件も抑えることが必要であると考えているようである。

References

IES: Position Statement “Effect of exterior lighting on human health”, PS-03-10(2010)
[internet] <http://www.ies.org/PDF/PositionStatements/PS-03-10.pdf>

IES: Light and Human Health: An Overview of the Impact of Light on Visual, Circadian, Neuroendocrine and Neurobehavioral Responses, TM-18-08 (2008)

IES: The lighting handbook 10th edition(2011)

5-2. Lighting Research and Technology 誌など

Lemmings, Light, and Health

Peter R. Boyce

LEUKOS, 2, 3, 175-184, 2006

この論文は、ヒトの健康に対する光曝露の影響を考慮に入れた照明方法の変更への情熱が考えの基本になっている。光曝露が人の健康に影響を与えることは疑いがなく、このように光を使って、メカニズムと因果関係について学ぶことはまだまだたくさんある。光曝露が安全に、うまく、効率的にヒトの健康増進に際して利用される前に、取り組む必要がある質問が明らかにされた。

Ambulant recording of light for vision and non-visual biological effects

Hubalek, S. et al.

Light. Res. Technol., 38, 4, 314-324, 2006

光とヒトの相互作用に関する研究にとって、ヒトの目に曝露される光のデータは極めて重要なものです。今日得られている知見に従い、2つの異なる分光感度は信頼できる。すなわち、(1)視覚で利用される分光放射効率感度と(2)それ以外の非視覚的な生物学的効果で利用されるメラトニン抑制のためのアクションスペクトルである。我々は、これらの2つの量を計測および記録する *LuxBlick* と呼ぶ装置を開発した。これは、頭につけて固定する2つの光センサーと、腰の回りのバッグの中のコントロールユニットとデータを記録するミニコンピュータからなる。実時間データは、これらの身につけている装置によって記録される。日常生活の中で着用されるべきなので、頭の一部にあると、頭と比べて質量が小さく、目立たない。

Proportions of direct and indirect indoor lighting - The effect on health, well-being and cognitive performance of office workers

KI Fostervold et al.,

Lighting Res. Technol., 40, 175-200, 2008

間接照明はオフィスに必要な照明を提供する方法として推奨されている。間接照明の長所を調べるため、直接照明と間接照明の割合を変化させた4種類の天井据付型の照明計画案の効果が一般的なオフィス環境で確かめられた。この研究では、4 x 3 の混合無作為反復

デザインを採用した。従属変数として、自覚症状、主観的な健康、認知パフォーマンスを評価した。視覚ストレスに主に寄与するグレアは物理的に取り除かれた。直接照明と間接照明の割合が環境の明るさに影響を与えることを測光量の計測が示した。減少した仕事のストレスの激しさと直接照明の間を除いて、間接照明と直接照明の割合は従属変数に影響を与えないことが示された。新しい照明設備の主たる効果は自覚症状と認知パフォーマンスに表れていた。

Lighting appraisal, well-being and performance in open-plan offices: A linked mechanisms approach

JA Veitch et. al.,

Lighting Res. Technol., 40, 133-151, 2008

オフィス空間を模擬した2つの実験において、臨時のオフィス職員が1日を6種類ある照明条件のうちの1つで過ごした。既往報告では、光条件が知覚と感情、タスクパフォーマンスに影響を及ぼすことを統計学的検定の結果が報告している。この論文は、衛生、健康、タスクパフォーマンスに影響を与える光条件に関連するメカニズムを調べる回帰分析を介して報告している。2つの統計学的アプローチから統合された結果から、高い質のオフィス照明を享受したヒトは一日の終わりに、空間をより魅力的と評価し、より好ましい気分をもたらすと報告し、より健康に見えるようになる。直接/間接の照明と個人的制御は、好まれている。視認性を改善する照明条件はタスクパフォーマンスを改善した。

A proposed 24h lighting scheme for older adults

MG Figueiro

Lighting Res. Technol., 40, 153-160, 2008

アルツハイマー病 (AD) 患者は、健常な高齢者で観察されるような整理された睡眠/覚醒サイクルと比べ、休憩-活動のパターンのランダムさが観察されている。アルツハイマー病患者の休憩-活動のリズムと睡眠効率が光療法によって改善することが示された。概日システムは短波長放射に最大の感度がある。2件の独立した研究を要約すると、夕方早い時刻に、ヒトの角膜へ2時間、30 lx のLEDによる青色の光 ($\lambda_{\max} = 470 \text{ nm}$) を曝露することで、赤色光を同じ線量曝露したときと比べて、アルツハイマー病患者を含む高齢者の睡眠効率が改善できたと示されている。青色の光療法を被験者に承諾させることはアルツハイマー病患者を含む高齢者にとっては難しいことかもしれないため、我々は、より実用的で効果的な照明計画を考えた。ヒトの概日光変換の計算モデルに基づいた、夜間や日中

における分光分布と光量の異なる白色光曝露は、年長者や介護者にとって容易に受け入れられるかもしれない。高齢者にとっての改善された視環境とより良い睡眠効率が暗示するものが議論されている。

Seasonal affective disorder: Lighting research and Environmental psychology

Tonello, G

Light. Res. Technol. 40, 103-110, 2008

このレビューでは、なぜ、技術者や建築家、デザイナーが学問分野を超えて気を付ける必要があるかを書くため、環境心理学の研究成果を使い、季節パターンを伴ううつ病である季節性情動障害を扱う。低緯度地域における冬の季節性情動障害と、夏の間季節性情動障害の研究は、環境心理学で行われるように、個人の要素を含めた環境の全体像の方へ分離して照明を考えることから離れる必要があることを示している。

Effect of correlated colour temperature and timing of light exposure on daytime alertness in lecture environments

Emilia RAUTKYLÄ et al.,

J. Light & Vis. Env., 34, 2, 59-68, 2010

高い相関色温度 (Tcp) の白色光は集中力や覚醒度を改善させ、結果として、オフィス環境におけるより良い生産性をもたらすことがこれまでに報告されている。この研究では、授業に出席している間、光が曝露されている被験者に同様のことが起こるかが調べられた。この研究では、2つの一連のフィールド研究があり、春と秋に実施された。被験者は授業を受けている90分の間、4000 K か、17000 K の T5 蛍光灯のいずれかの光が曝露された。被験者は、各期間の始めと終わりに、9ステップスケールの Karolinska Sleepiness Scale で、覚醒度のレベルを判定した。春には、授業期間の間、覚醒度に変化は認められなかった。光の相関色温度と主観的覚醒度の間に相関関係は見られなかった。その代わりに、秋では、授業の間、覚醒水準の低下が有意で、午後におけるポストラランチディップ効果（昼食後の覚醒水準の低下）が顕著に確認された。秋の研究は、午後の授業で17000 K の光源を被験者に曝露すると、4000 K 光と比較して、もしかすると、学生に高いレベルの覚醒水準を維持させる手助けができることを示している。以上より、この研究では、色温度と光曝露のタイミングが、教室環境内において学生の覚醒度に重要な役割を持つことを示唆している。

Effects of dynamic lighting on office workers: First results of a field study with monthly alternating settings

YAW de Kort et al.,

Lighting Res. Technol., 42, 245-260, 2010

ダイナミックライティング（時刻によって照度と色温度を変化させる照明方法）は、健康とパフォーマンスに良い効果を持つように設計されている。我々は実際の職場環境で働いている時に、これらの効果が検出可能で、安定的かどうかをフィールド実験で調べた。この実験は2つのパートに分かれていて、毎月、交互に実験条件を設定し、他方、毎年、実験条件を交互にします。この論文では、最初のパートについて報告します。二重バランスデザインでは、オフィスワーカーは、3つの連続した期間に a-b-a / b-a-b の実験計画に従い、動的か、静的な照明環境を経験した（N = 142, 90, 83）。従業員はダイナミックライティングに満足しているようだったとはいえ、回復、活力、覚醒度、頭痛、眼精疲労、精神衛生、睡眠の質、また、主観的なパフォーマンスに関する質問紙に、有意な差がないことが示された。研究の意味と限界が議論された。

The effects of red and blue light on alertness and mood at night.

B Plitnick et al.,

Lighting Res. Technol., 42, 449-458, 2010.

この研究は、夜間に一時的な情動や覚醒度をもたらす長波長と短波長の光の機能を調べるために設計された。22名の被験者が混合デザイン実験に参加し、脳活動と、覚醒度と眠気、気分の自己評価を指標に、2つの光強度レベル（10 lx と 40 lx）で、長波長光（630 nm 光）と短波長光（470 nm 光）の影響を計測した。測定は、光曝露の前1時間と光曝露中、光曝露後に得られた。赤と青の光は脳波のベータ波（12-30 Hz）を増加させ、眠気を減少させ、前の薄暗い光の区間に対してはポジティブな影響を与えることが示され、メラトニン経路を刺激することなしに光によって、覚醒度と情動が影響を受けることが示された。しかし、夜間における疲労の増加と比べて、光の効果はささやかだった。

Office workers' daily exposure to light and its influence on sleep quality and mood

S Hubalek et al.,

Lighting Res. Technol. 42, 33-40, 2010

目に入る光の量と、その光がオフィスワーカーに与える影響を研究するため、連続した7日間の間、23名のオフィスワーカーから計測結果が得られた。2つのパラメーターの可視域の光が記録された。すなわち、(i):照度、(ii):青の分光成分の放射量。就寝前の夕方に毎日、満足と覚醒の心理的な状態に関連するスケール、前の夜の睡眠についての質問、日中にその人がいた場所に関するおよそのタイムテーブルと情報について質問紙に記入させた。平日に光にさらされるのは一般的であるが、受光量は休日に大きく変化する。オフィスワーカーの毎日の受光量において、年齢や性別、季節性情動障害のスコアが影響を及ぼすという証拠はない。日中、目に入る光の量は、その後の夜の睡眠の質に良い影響をもたらすようだ。満足と覚醒は、毎日の光曝露と有意な関連性がなかった。

Ecological measurements of light exposure, activity and circadian disruption

D Miller et al.,

Lighting Res. Technol., 42, 271-284, 2010

ヒトにおいて、概日リズムは平均して24.2時間の周期を持っている。網膜における24時間の明暗パターンは地球上のローカルタイムにおける概日リズムと同調している。生体内時計とローカルタイムの間における同調の欠如は病気の原因となる。そのため、1日24時間の間での光曝露を計測することは重要であり、実際の住環境における概日リズムの同調と混乱を解析することができる。活動量と概日リズムに影響を与える光曝露を記録するための個人用の計測機である近年開発された *Daysimeter* の概略が紹介された。*Daysimeter* を頭にかぶせた時に目の近くにある2つのセンサーが、長時間にわたって概日リズムに影響を与える光曝露を推定するために使われた。位相解析は、行動学的な概日リズムの同調／混乱を評価するため、周期的な明暗パターンの計測とともに周期的な活動-休憩パターンの計測を組み合わせた。昼勤務と交代勤務の看護師は、行動学的な概日リズムの同調／混乱が目立って違うことが示された。これらの新しい生態学的計測と解析のテクニックは概日リズム障害と健康の関係に関する重要な洞察を与えるかもしれない。

研究調査委員会報告書の著作権について

本報告書の著作権は（社）照明学会に帰属します。

複写をされる方に

本報告書に掲載された著作物は、政令が指定した図書館で行うコピーサービスや、教育機関で教授者が講義に利用する複写をする場合等、著作権法で認められた例外を除き、著作権者に無断で複写すると違法になります。